



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Holzhochhaus: technisch, rechtlich, wirtschaftlich

**Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung**

Univ. Prof. Arch. Dipl.-Ing. Christoph M. Achammer

E234-01

Institut für integrale Bauplanung und Industriebau

Eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Samuel M. Ritter, MA BSc

01125406

Klosterneuburg, am 30.09.2020

ABSTRACT

In aspect of global warming and the to date undisputed urbanization (this topic must be revisited after the global pandemic of covid-19) cities around the world face enormous difficulties to withstand the pressure of these global phenomena. The need for dense city centers, as well as the zeitgeist of a sustainable construction industry are the major reasons to further research on the newly developing building type of timber high rises. There are three key aspects, which need to be met in order to develop a project efficiently.

- The technical aspect
- The legal aspect
- The economic aspect

To research the building type timber high rise, initially these three listed aspects were researched and documented on a theoretical level. The findings of the theoretical study are the foundation of the standardized form, which aims to make every timber high rise comparable. Four prototypes were analyzed in this thesis in order to find out, whether timber high rises can now or in the future be considered viable alternatives to conventionally built high rises. This study finds, that today as well as in the future an all timber high rise cannot be considered a viable alternative to conventional high rises. This is due to the three aforementioned aspects (technical, regulative, economic), of which timber as a construction material exhibits strong weaknesses. None of the analyzed prototypes can be considered all timber high rises. Every single one of them, used material combinations to negate the prevailing weaknesses. In the future when building high rises with timber, timber won't be the sole construction material used. In all likelihood timber will be used in some sort of (prefabricated) timber-hybrid elements.

KURZFASSUNG

Unter den Aspekten des globalen Klimawandels und einer bis dato unaufhaltbar wirkenden Urbanisierung (diese ist nach dem Ende der Covid-19 Pandemie neu zu beleuchten), geraten die städtischen Flächen vermehrt unter Druck. Der Zwang nach hoher innerstädtischer Dichte sowie der Zeitgeist einer nachhaltigen Bauindustrie sind die Triebkräfte, die eine genauere Untersuchung des bislang kaum erforschten Gebäudetyps „Holzhochhaus“ notwendig machen. Hinsichtlich der Errichtung und Realisierung eines Projektes sind insbesondere drei wichtige Themen von höchster Relevanz, welche in dieser Arbeit im Detail beleuchtet werden:

- Die technische Umsetzung
- Der rechtliche Hintergrund
- Die wirtschaftliche Eignung

Um diese drei Aspekte des Holzhochhauses zu untersuchen, wurde zunächst eine Grundlagenstudie durchgeführt. Darauf aufbauend wurde ein standardisierter Kriterienkatalog entwickelt, der Holzhochhausprojekte vergleichbar macht und Schlüsse über den Gebäudetyp zulässt. Im Zuge dieser Arbeit wurden vier Leuchtturmprojekte untersucht, um zu klären, ob das Holzhochhaus eine sinnvolle Alternative zum konventionellen Hochhaus darstellt, oder in Zukunft darstellen kann.

Nüchtern betrachtet muss festgehalten werden, dass aus heutiger Sicht und wohl auch zukünftig, das reine Holzhochhaus keinen viablen Ersatz für das konventionelle Hochhaus darstellt bzw. darstellen wird, da dieses zu viele Restriktionen auf allen drei der untersuchten Ebenen (Technik, Recht, Wirtschaftlichkeit) aufweist. Keines der untersuchten Projekte kann als reines Holzhochhaus betrachtet werden, auch bei Gebäuden mit sehr hohem Holzanteil, konnten durch das Zusammenspiel verschiedener Materialkombinationen Materialschwächen umgangen werden. Kommt das Holz zukünftig vermehrt im Hochhausbau zum Einsatz, wird dies mit großer Wahrscheinlichkeit in Form von (vorgefertigten) Holz-Hybriden sein.

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich allen DANKE sagen, die mich über viele Jahre hinweg so tatkräftig unterstützt und mich auf meinem Weg begleitet haben.

Danke an Herr **Prof. DI Christoph M. Achammer**, für die wunderbare Betreuung, den offenen Zugang zum Thema Holzbau, die konstruktive Kritik und das professionelle Feedback, ohne welches die Arbeit nicht das geworden wäre, was sie ist. Danke!

Danke an meine lieben Eltern **Beate und Udo**, die mir das ganze Studium erst ermöglicht haben. Danke für die langjährige finanzielle Entlastung, das offene Ohr, die vielen Ratschläge, die vielen Besuche und die grandiose Unterstützung. Ihr seid die besten Eltern, die man sich wünschen kann. Danke!

Größten Dank an die Frau an meiner Seite, die mich seit über einem halben Jahrzehnt auf meinem Weg begleitet. **Katharina**, ich danke dir von ganzem Herzen. Ohne dich wäre meine Studienzeit nicht halb so schön gewesen. Danke für die tagtägliche Unterstützung, Motivation und Eifer, sowie die unzähligen Stunden, in denen wir über unsere Leidenschaft die Immobilien sprechen. Ich möchte keine Sekunde missen, du bist die beste. Danke!

Danke auch an meine kleinen Geschwister **Nicolas** und **Magdalena**, die unterschiedlicher nicht sein könnten und von denen ich viel lernen konnte. Ruhe und Gelassenheit, Arbeitseifer, Kontinuität und Zielstrebigkeit sind nur einige der Eigenschaften, die euch ausmachen. Danke!

Danke an meine Freunde und Studienkollegen, insbesondere **Matteo**, **Alexander** und **Clemens**, durch die das gemeinsame Arbeiten auch bei zahlreichen aufgewendeten Stunden äußerst kurzweilig war. Danke!

Danke an **Andrea** und **Franz** für eure tatkräftige Unterstützung. Sei es beim Schweißen, Sägen oder durch die Stärkung mit einer warmen Mahlzeit. Danke!

Danke auch an meine Großeltern und die restlichen Verwandten!

INHALTSVERZEICHNIS

1 HERAUSFORDERUNGEN DER NEUZEIT 1

1.1 Der Ursprung	1
1.2 globales Wachstum	2
1.2.1 Bausteine für ein Bevölkerungswachstum	3
1.2.2 Der Demografische Übergang	3
1.2.3 Altersstrukturen	6
1.2.4 Wachstumspotenziale	7
1.2.5 Stabilisierung	9
1.3 Konsequenzen ungebremsten Wachstums	10
1.3.1 Beschleunigter Klimawandel	12
1.4 Der Beitrag der Gebäudeindustrie	13
1.5 Verstädterung	16
1.5.1 Die urbane Revolution	16
1.5.2 Antriebsmechanismen der Urbanisierung	16
1.5.3 Urbanisierungspotenziale	17
1.5.4 Begrenztes Wiener Bauland	19
1.5.5 Die Verstädterung Nach einer globalen Pandemie	20
1.5.6 Baustrukturen der Stadt	21

2 DAS HOCHHAUS 22

2.1 Geschichte	22
2.1.1 Der Hochhausbestand in Österreich	23
2.2 Hochhaus in der Stadtstruktur	24
2.3 Vorzüge des Hochhausbaus	25
2.3.1 Symbolismus	25

2.3.2 Urbane Regeneration	25
2.3.3 Grundpreise	26
2.3.4 Landverbrauch	26
2.3.5 Transport und Infrastruktur	26
2.3.6 Klimawandel und Energie	27
2.4 Die Schwächen des Hochhausbaus	28
2.4.1 Erbe und Symbolismus	28
2.4.2 Soziokultur	28
2.4.3 Wirtschaftlichkeit	29
2.4.4 Transport und Infrastruktur	29
2.4.5 Umwelt	30

3 DAS HOLZHOCHHAUS: TECHNISCH **31**

3.1 Die Holzvorkommen	31
3.1.1 Kohlenstoffspeicher und Kohlenstoffsенke	32
3.1.2 Der Forst	33
3.1.2.1 Die Ökologie des Waldes	34
3.2 Baumaterial Holz	35
3.2.1 Einfluss durch Holzfeuchte	36
3.2.2 Festigkeit des Holzes	36
3.2.3 Holzwerkstoffe	37
3.2.3.1 Verbundmittel	38
3.2.3.2 Das Brettschichtholz (BSH)	38
3.2.3.3 Brettsperrholz (BSP) / Kreuzlagenholz (KLH)	40
3.2.3.4 Brettstapelelemente	41
3.2.3.5 Span- und Faserwerkstoffe	42
3.2.3.6 Hybride Baustoffe	43
3.3 Der Holzschutz	44

3.3.1 Holzauswahl	44
3.3.2 Konstruktiver Holzschutz	44
3.3.3 Chemischer Holzschutz	45
3.4 Konstruktion	45
3.4.1 Vertikallasten	45
3.4.1.1 Plattformsystem	46
3.4.1.2 Durchgehend gebautes System	46
3.4.2 Horizontallasten	46
3.4.3 Duktilität	47
3.5 Tragwerk	47
3.5.1 Holz-Plattenbausysteme	48
3.5.2 Holz-Stabsysteme (Skelettbau)	49
3.5.3 Hybridbausysteme	49
3.6 Der Schall in Gebäuden	50
3.6.1 Maßnahmen zur Schallsolierung	51
3.6.1.1 Schallsolierung von Wänden	51
3.6.1.2 Schallsolierung von Decken	53
3.7 Thermische Leistung von Holzhozhäusern	54
3.7.1 Gebäudehülle	54
3.7.1.1 Wärmedämmung	55
3.7.1.2 Dampfbremsen	55
3.7.1.3 Luft- und Wassersperre	56
3.7.1.4 Wärmebrücken	56
3.8 Brandeigenschaften von Holz	57

4 HOLZHOCHHAUS: RECHTLICH **58**

4.1 Das österreichische Baurecht	58
4.2 Flächenwidmung für Holzhozhäuser	59

4.3 Leitfaden für eine Hochhauswidmung	60
4.3.1 Erzielen der Widmung	60
4.3.2 Mehrwerte	61
4.3.3 Städtebauliche Leitbilder	62
4.4 Die OIB-Richtlinien	66
4.4.1 Allgemeine Gebäudeanforderungen nach OIB 2	66
4.4.2 Anforderungen an Bauprodukte	67
4.4.3 Gebäudeklassen	68
4.5 Leitfaden zur Abweichung von OIB-Richtlinie 2	71
4.5.1 Brandschutzkonzept	72
4.6 Der internationale Vergleich	74
4.6.1 Deutschland	74
4.6.2 Schweiz	75
4.6.3 Großbritannien	75
4.6.4 Schweden, Norwegen, Dänemark	75
4.6.5 Japan	76
4.6.6 USA	77
4.6.7 Kanada	78

5 DAS HOLZHOCHHAUS: WIRTSCHAFTLICH 79

5.1 Hochhauspezifische Kosten	79
5.1.1 Liftanlagen	79
5.1.2 Gebäudeeffizienz	80
5.1.3 Fassaden	81
5.1.4 Tragwerk	81
5.1.5 Gebäudekostenschlüssel	82
5.1.6 Steigerung der Kosten durch Bauhöhe	83
5.1.7 Nutzungskosten	83

5.2 Bauen mit Holz	85
5.2.1 Rohstoffpreise	85
5.2.2 Ein Preisvergleich	87
5.2.2.1 Forschungsprojekt 8+	88
5.2.2.2 Studie: "The case for tall wood buildings"	89
5.3 Vorfertigung	92
5.3.1 Vorteile	92
5.3.2 Ansprüche	92
5.3.3 Bauzeit	93
5.4 Marktpositionierung	93
5.5 Ressourcenwirtschaft	94

6 FORSCHUNGSMETHODIK **96**

6.1 Rekapitulation	96
6.2 Aufbau der Studie	100
6.2.1 Einzelstudien	100
6.2.2 Leitfaden Kriterienkatalog	101
6.3 Objektauswahl	123

7 LEUCHTTURMPROJEKTE **124**

7.1 LifeCycle Tower ONE	124
7.2 Treet	158
7.3 Brock Commons Tallwood House	191
7.4 HoHo	225

8 CONCLUSIO UND AUSBLICK **260**

8.1 Holzhochhaus technisch	261
8.2 Holzhochhaus: Rechtlich	263

8.3 Holzhochhaus: Wirtschaftlich	264
8.4 Ausblick	266
8.5 Bibliographie	268
8.6 Internetquellen	272
8.7 Abbildungsverzeichnis	274
8.8 Tabellenverzeichnis	275

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BCTWH – Brock Commons Tallwood House

BGF –Bruttogeschossfläche

BIP – Bruttoinlandsprodukt

BSH - Brettschichtholz

BSP – Brettsperrholz

bzw. – beziehungsweise

ca. – circa, rund, in etwa

EU – Europäische Union

EZB – Europäische Zentralbank

GFDL – Geophysical Fluid Dynamics Laboratory

GFZ – Geschossflächenzahl

KLH – Kreuzlagenholz

LCT ONE – LifeCycle Tower One

NCAR – National Center of Atmospheric Research

Nfl. – Nutzfläche

TWI – Tall Wood Index

UN – United Nations, Vereinte Nationen

USA – Vereinigte Staaten von Amerika (United States of America)

usw. – und so weiter

vgl. – vergleiche

z.B. – zum Beispiel

BEGRIFFSKLÄRUNG

Alternative Solutions Approach – frei übersetzt: „alternativer Lösungsansatz“
hierbei wird durch den Beweis der Gleichwertigkeit einer Methode eine Alternative vorgeschlagen

Biodiversität – biologische Vielfalt, Variabilität lebender Organismen

Graue Energie – entspricht im Hochbau jener Energiemenge, die für Verarbeitung, Transport, Einbau und Entsorgung für ein Produkt aufgewendet werden muss.

Fertilitätsrate – gibt an, wie viele Kinder eine Frau im Laufe ihres Lebens bekommt

Konglomerat – aus dem lateinischen „zusammenballen“, hier: Ballung

Migrationsrate – beschreibt die Differenz zwischen Ein- und Auswanderung eines Landes / Region

Mortalitätsrate – Anzahl der Todesfälle zur Anzahl der Individuen

Mykotisch – pilzartig

Parts per Million (ppm.) – ein Millionstel = 10^{-6} / vgl. ein Prozent = 10^{-2}

Produktives Kapital – Teil des industriellen Kapitals (Produktionsmittel, Arbeitskraft, Vorräte)

Prototyp – eine Sache oder Konzept, das als Vorbild für weitere ähnliche Dinge dient

Urbanisierung – Synonym Verstädterung

PROLOG

PROBLEMSTELLUNG

Die Menschheit steht nach der Industriellen Revolution vor einem weiteren entscheidenden Wendepunkt.

Einen immer größeren Anteil der Menschen zieht es in die Städte. Anfang des 21. Jahrhunderts war die Zahl der in den Städten lebenden Menschen erstmals größer als die der Landbewohner. Bis 2050 werden rund zwei Drittel in Städten leben.¹ Der benötigte Wohn- und Arbeitsraum muss daher auf immer weniger Grund und Boden realisiert werden. Wohnungen werden kompakter und Gebäude müssen höher werden, um den Entwicklungen standzuhalten.

Die Baubranche als einer der größten globalen Treibhausmitteln sowie Ressourcen- und Energieverbraucher steht vor unausweichlichen Herausforderungen. Gerade in Zeiten des Klimawandels werden nachhaltig gebaute Immobilien eine immer wichtigere Rolle spielen. Wie kann also das knappe städtische Gut, Grund und Boden, sinnvoll, ressourcen- und klimaschonend genutzt werden, um der prognostizierten Verstädterung und dem Bevölkerungsanstieg standzuhalten und einen unumkehrbaren Schaden für Klima und Menschheit abzuwenden?

FORSCHUNGSZIEL

Eine Variante wäre die Etablierung des Holzhochhauses als gängigen Bautyp, da dieser auf der Verwendung nachwachsender Rohstoffe basiert und über eine hohe Dichte verfügt. Aktuell steckt der Bautypus noch in den Kinderschuhen. Einige Leuchtturmprojekte wurden jedoch im Laufe des letzten Jahrzehnts bereits realisiert.

Diese Arbeit setzt sich mit den drei Grundpfeilern dieses Gebäudetypus auseinander:

¹ Vgl. KEUSCHNIGG et al. 2013, S. 42

- **Technische Analyse** der Vor- und Nachteile, sowie Chancen und Risiken im Einsatz von Holz als Substitut für Beton und Stahl im Hochhausbau.
- **Rechtliche Analyse** von Auflagen die zu erfüllen sind im Zusammenhang mit einem geplanten Holzhochhausprojekt.
- **Wirtschaftliche Analyse** von Parametern die für oder gegen das Holzhochhaus als Bautyp sprechen.

Schlussendlich soll geklärt werden, ob das Holzhochhaus in Anbetracht der zukünftigen Entwicklung eine in allen erforschten Belangen sinnvolle Alternative zum gängigen Hochhaus darstellt, oder in Zukunft darstellen kann.

METHODIK & AUFBAU

Die Arbeit unterteilt sich in fünf Abschnitte.

Im ersten Abschnitt „**Ausgangspunkt**“, bestehend aus *Herausforderungen der Neuzeit* und *Hochhaus*, werden die vorherrschende Probleme, Ursachen und der Bautyp Hochhaus genau untersucht,

Im zweiten Abschnitt „**Grundlagenanalyse**“ werden die Themen Technik, Recht und Wirtschaftlichkeit aus der Sicht des Holzhochhauses detailliert dargestellt.

Im dritten Abschnitt werden die wichtigsten Faktoren des Holzhochhauses in einen „**Kriterienkatalog**“ überführt. Dieser bildet die Grundlage für die Analyse bereits gebauter Prototypen/Leuchtturmprojekte, um daraus Erkenntnisse zur Beantwortung der Forschungsfrage abzuleiten.

Im vierten Abschnitt „**Leuchtturmprojekte**“ werden im gleichnamigen Kapitel vier gebaute Gebäude mithilfe des Kriterienkatalogs untersucht. Die Auswahl der erforschten Projekte erfolgte nach deren Fertigstellungsdatum, der Anzahl der Geschosse, der Höhenentwicklung, und der Bauweise.

Im fünften Abschnitt „**Conclusio und Ausblick**“ werden alle gewonnenen Erkenntnisse aus der Grundlagen- und Projektanalysen zusammengefasst, um schlussfolgernd die Forschungsfrage zu beantworten. Es sollen

besondere Vor- und Nachteile, sowie Hürden und Chancen herausgehoben werden, die durch Entwicklung eines Holzhochhausprojektes entstehen. Abschließend werden die Perspektiven des Holzhochhausbaus in Anbetracht der globalen Entwicklung dargestellt.

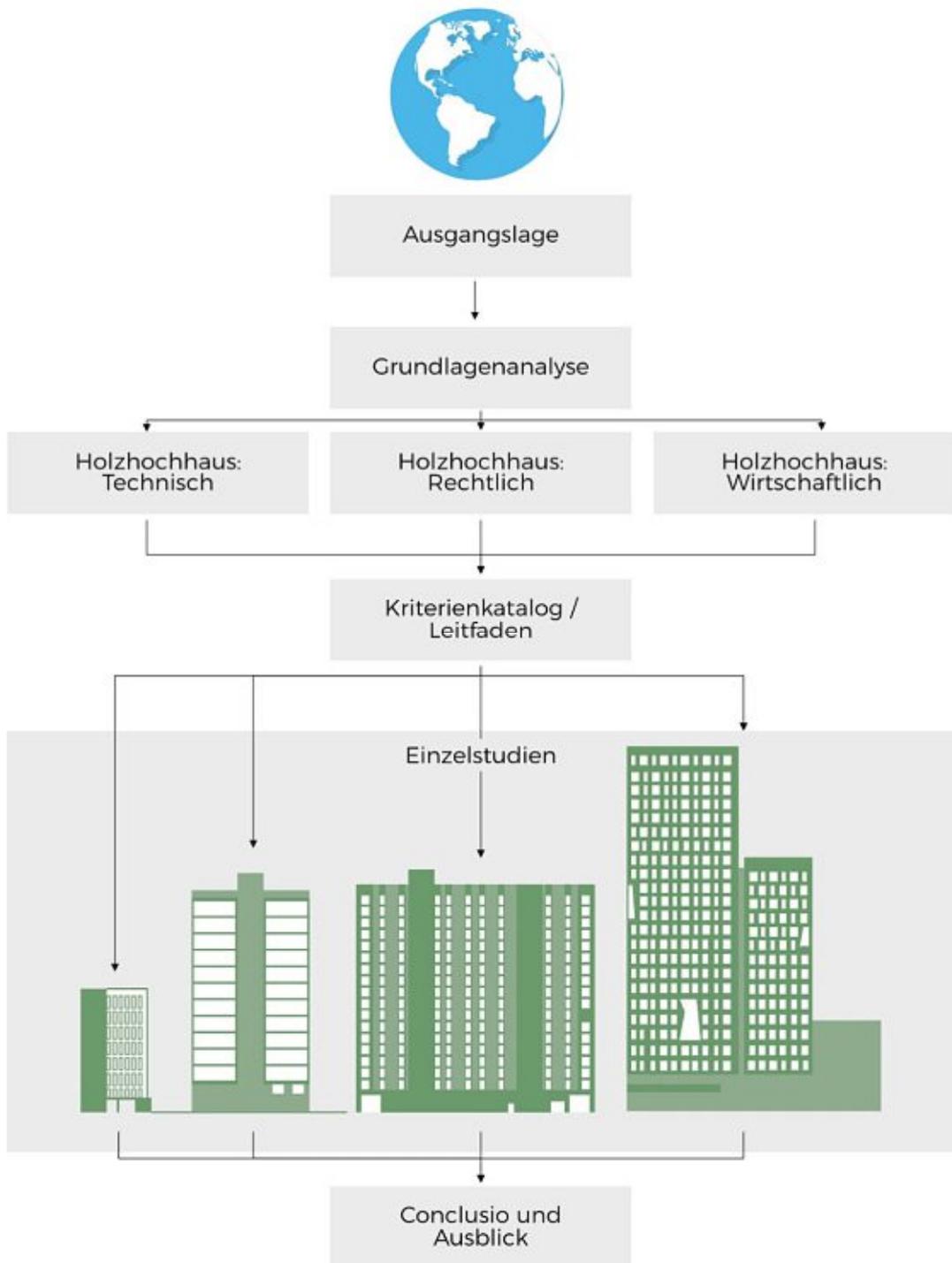


Abb. 1 Aufbau der Arbeit

1 HERAUSFORDERUNGEN DER NEUZEIT

Die Welt des 21. Jahrhunderts steht vor bisher unübertroffenen Herausforderungen. Befeuert durch bis dato gemeinhin rücksichtsloses Eingreifen der Menschheit in das Ökosystem Erde – angetrieben durch den ständigen wirtschaftlichen Fortschritt – ist dieses mit einer Vielzahl neuer Bedrohungen konfrontiert. Drohende Überbevölkerung, Verschmutzung der Lebensräume, extreme Rodungen des Waldbestandes, Ausbeute verknappender Rohstoffe, sowie die Belastung der Luft durch kontinuierlich steigende Emissionen sind nur einige der zahlreichen Probleme. Diesbezüglich gibt es aktuell kaum eine Thematik, die global so häufig diskutiert wird wie der **Klimawandel**. Ein ungebremstes Voranschreiten der aktuellen Entwicklung hätte nicht nur schwerwiegende ökologische Folgen, sondern würde auch die Wirtschaft, Sozial- und Wohnstrukturen, sowie die grundlegenden physiologischen Bedürfnisse der Weltbevölkerung weitgehend gefährden.²

1.1 DER URSPRUNG

Die **Industrielle Revolution** in der Mitte des 18. Jahrhunderts markiert einen bedeutenden Wendepunkt in der Humangeschichte. In dieser Zeitperiode revolutionierte sich der Lebensstil der Menschen grundlegend.

Fortschritten in der Agrarwirtschaft folgten Anstiege in der Nahrungs- und Rohstoffproduktion. Zeitgleich entstanden neue technische Entwicklungen, die den Schlüssel zur Industrialisierung der Welt bildeten:

- Mechanische Anlagen ersetzen weitgehend das menschliche Handwerk
- Verwendung neuer Energieträger, wie Kohle- und Dampfkraft als Substitut für Muskelkraft
- Verbesserungen in der Rohstoffverarbeitung

² Vgl. <https://www.global2000.at>

Ab diesem Zeitpunkt wurden kleine Produktionsstätten weitestgehend durch Manufakturen und Fabriken ersetzt, da diese neuen Organisationsformen zu einer enormen Steigerung der Produktivität, Effizienz, Qualität und Erlöse führten, wodurch auch der regionale und internationale Handel stark profitierte.³

Dem Aufschwung folgten aber nicht nur wirtschaftliche Errungenschaften, denn auch die Qualität in der Kleidungs- und Nahrungsmittelproduktion, sowie weitreichende Fortschritte in der Medizin waren ausschlaggebende Aspekte, welche diese Periode entscheidend prägten. Die Industrialisierung verbreitete sich von England auf das europäische Festland und Nordamerika und schließlich die gesamte Welt.⁴

Österreich zählte zunächst zu jenen Ländern, die nur bedingt an der Industrialisierung teilnahmen und dadurch wirtschaftlich in Rückstand gerieten. Es war zuerst notwendig innerpolitische und wirtschaftliche Hindernisse abzubauen, um den dadurch entstandenen Rückstand gegenüber den westeuropäischen Staaten aufzuholen. Trotz der zunächst bestehenden Hürden, wie ein Ansiedlungsverbot für Fabriken, ließ sich die Industrialisierung nicht aufhalten. Das Bürgertum und die Arbeiterschaft wurden mächtiger und wohlhabender, während der Adel an Einfluss verlor. Als Folge stieg die Lebensqualität der durchschnittlichen Österreicher und somit deren Lebenserwartung.⁵

1.2 GLOBALES WACHSTUM

Vor rund 200 Jahren betrug die globale Anzahl der Menschen knapp eine Milliarde. Heute sind es mehr als 7,6 Milliarden – Tendenz weiterhin stark steigend. Wie und ob sich dieses Wachstum in den nächsten Jahren fortsetzt ist von großer Bedeutung, da der Mensch maßgeblichen Einfluss auf das Ökosystem nimmt. Dies wird besonders in Anbetracht der globalen Ressourcen deutlich, da die vorherrschende Bevölkerungsentwicklung eng mit der ökonomischen Marktintegration und dem immer wachsenden

³ Vgl. <http://teachersinstitute.yale.edu>

⁴ Vgl. MCLAMB, The Ecological Impact of the Industrial Revolution

⁵ Vgl. <https://www.globalisierung-fakten.de>

Konsum verbunden ist. Diese Kombination führt unweigerlich zu einer vorangetriebenen Reduktion der natürlichen Vorkommen. Die Errungenschaften in der Medizin, Ernährung, Hygiene und Behausung während der Industriellen Revolution, hatten eine steigende Lebenserwartung zur Folge und damit ein Wachstum der Weltbevölkerung.⁶

1.2.1 BAUSTEINE FÜR EIN BEVÖLKERUNGSWACHSTUM

Die vorher erwähnten Errungenschaften nehmen Einfluss auf die drei Faktoren, die zu einem Anstieg beziehungsweise einem Rückgang des Bevölkerungswachstums führen:



Abb. 2 Bausteine für das Bevölkerungswachstum

Das resultierende globale Bevölkerungswachstum ist demnach die Differenz zwischen der Fertilitäts- und der Mortalitätsrate, wohingegen im Ländervergleich noch die Komponente Migration berücksichtigt werden muss.⁷

1.2.2 DER DEMOGRAFISCHE ÜBERGANG

Die Theorie des **demografischen Übergangs** wird als eine der Bedeutendsten der neuzeitlichen Bevölkerungsentwicklung angesehen. Sie

⁶ Vgl. <http://www.bpb.de>

⁷ Vgl. ROSER, ORTIZ-OSPINA, World Population Growth, 2019

beschreibt fünf demografische Phasen, die von der Bevölkerung durchlaufen werden und neue Gegebenheiten mit sich bringen.⁸

Der demografische Übergang markiert die andauernde Verschiebung zwischen Fertilitäts- und Sterberate. Das Modell beschreibt den Langzeitverlauf, den die Bevölkerungsstruktur durchlebt, von hohen bis hin zu niedrigen Mortalitäts- und Fertilitätsraten.

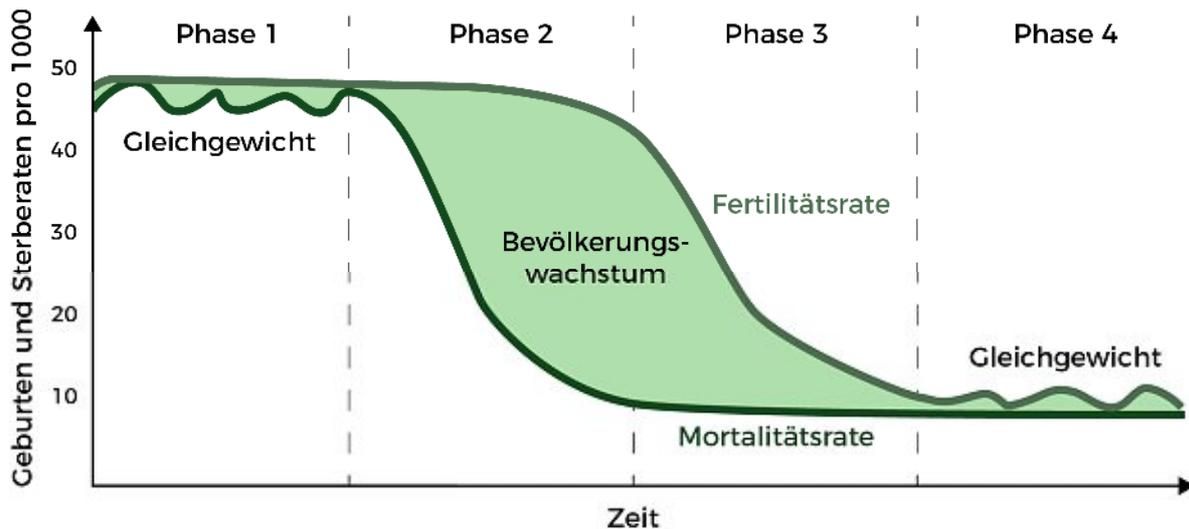


Abb. 3 Schema: Demografischer Übergang

Phase 1

In der frühen Phase des demografischen Wandels ist sowohl die Fertilitäts- als auch die Mortalitätsrate sehr hoch.

Phase 2

Die Lebensqualität der Bevölkerung verbessert sich und die Mortalitätsrate sinkt. Die Anzahl der Geburten bleibt aber vorerst hoch, was weiterhin ein Bevölkerungswachstum verursacht.

Phase 3

Die Lebensqualität steigt noch weiter und damit die Lebenserwartung der Bevölkerung. Die Geburtenraten fallen, dennoch verzeichnet sich ein Bevölkerungswachstum, da die Geburten die Todesfälle übersteigen.

Phase 4

Am Ende des Übergangs hat sich die Bevölkerungsentwicklung mit niedrigen Geburten- sowie Sterberaten stabilisiert. In dieser Phase ist es sogar möglich

⁸ Vgl. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/>

einen Bevölkerungsrückgang zu erreichen, wenn die Sterberate die Geburtenrate übersteigt.⁹

Um das globale Wachstum zu verstehen, muss zunächst der Fokus auf die Einzelstaaten gelegt werden, da sich nicht alle Staaten auf demselben Entwicklungsniveau befinden.



Abb. 4 Demografischer Übergang global

Die obere Abbildung zeigt eine beispielhafte Auswahl, bei der sich verschiedene Staaten in verschiedenen Phasen des demografischen Übergangs befinden.

So befinden sich Länder wie Uganda, Sambia und Afghanistan aufgrund hoher Sterbe- und Geburtenraten noch in der ersten Phase. Die junge Bevölkerungsschicht bildet zumeist die Hauptbevölkerungsstruktur. Guatemala, Ghana und der Irak sind Vertreter der Phase 2. In den Staaten der Phase 3 Gabun, Malaysia und Indien, sinkt die Geburtenrate, dennoch steigt das Wachstum noch an. Am Ende des demografischen Übergangs, in der Phase 4, haben sich sowohl Geburten- als auch Sterberaten stabilisiert, hierzu zählen hoch entwickelte Staaten wie Japan, die USA und Österreich.¹⁰

⁹ Vgl. <http://www.worldpopdata.org/>

¹⁰ Vgl. <https://www.prb.org/>

Aktuell befinden sich demnach mehr Staaten in den frühen Phasen des demografischen Übergangs, was dazu führt, dass die Wachstumsrate global weiterhin relativ hoch ist und somit die Zahl der Menschen global steigt.

Anfang 2018 betrug die Einwohnerzahl Österreichs ca. 8,8 Millionen, was einer Wachstumsrate von 0,6 % gegenüber dem Vorjahr entspricht. Auffallend hierbei ist, dass die Geburtenbilanz in Österreich nur knapp positiv ist. Der entscheidende Faktor für das Bevölkerungswachstum Österreichs ist folglich die Zuwanderungsbewegung aus anderen Staaten.¹¹

1.2.3 ALTERSSTRUKTUREN

Als Folge des demografischen Übergangs ändert sich die Altersstruktur der Bevölkerung. Je nach Phase, in der sich ein Land gemäß dem Übergangsschema befindet, sind unterschiedliche Zusammensetzungen der Bevölkerung ablesbar.¹²

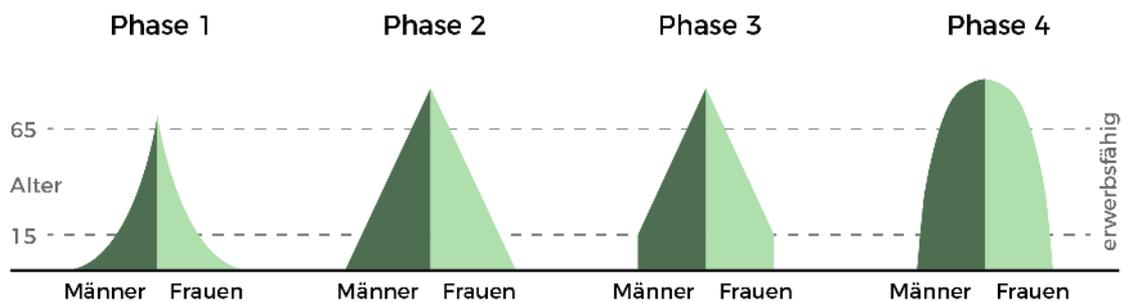


Abb. 5 Altersstrukturen nach Modell des demografischen Übergangs

Phase 1

Durch eine sehr hohe Geburten- und gleichzeitig hohe Sterberate ist der Großteil der Bevölkerung sehr jung.

Phase 2

Diese ist die Zeit ist geprägt von außerordentlich hohem Wachstum, da die Gesundheits- und Hygienestandards steigen, aber die Geburtenraten gleichbleibend hoch sind. Der Anteil der erwerbsfähigen Altersstruktur steigt.

¹¹ Vgl. <https://de.statista.com>

¹² Vgl. ROSER, ORTIZ-OSPINA 2017, World Population Growth

Phase 3

Die Geburtenrate sinkt durch Veränderungen in den Haushalten (z.B. Berufstätigkeit der Frauen) und passt sich langsam an die gefallene Sterberate an.

Phase 4

Das Wachstum kommt zu einem Ende und die Altersstruktur der Bevölkerung ist bis ins hohe Alter beinahe linear.¹³

Vergleicht man nun die tatsächliche Altersstruktur Österreichs mit der vorher beschriebenen Modellstruktur können einige Parallelen gezogen werden:

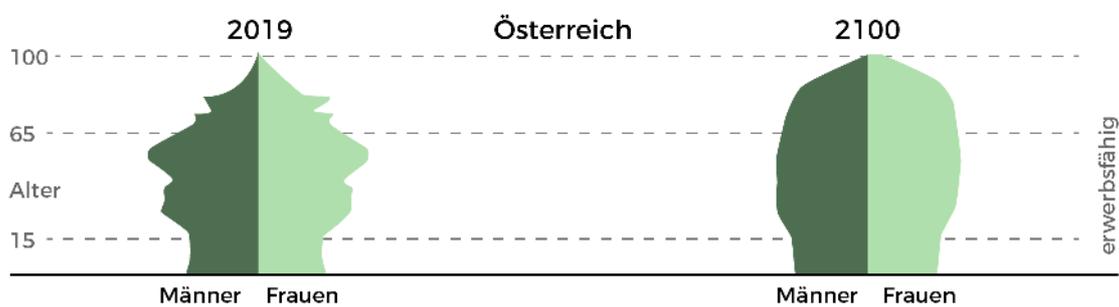


Abb. 6 Altersstrukturen in Österreich

Aktuell befindet sich ein Großteil der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter. Die Fertilitätsrate ist gemäß Phase 4 sehr niedrig, was in absehbarer Zukunft dazu führen wird, dass ein sehr großer Anteil der Bevölkerungsschicht in das nichterwerbsfähige hohe Alter rutscht. Dieses Phänomen der Überalterung führt unweigerlich zu sozioökonomischen Herausforderungen unter anderem in den Bereichen der Pension, Pflege und Arbeit.

Die für das Jahr 2100 prognostizierte Altersstruktur ähnelt zunehmend der des Modells der Phase 4. Zu berücksichtigen ist aber, dass Fluktuationen in der Bevölkerungsentwicklung wie Kriege oder Epidemien kaum vorhersehbar sind und sich deshalb nur bedingt in solchen Prognosen abbilden lassen.

1.2.4 WACHSTUMSPOTENZIALE

Bei einem Blick zurück auf die Menschheitsgeschichte fällt auf, dass die Bevölkerung bis in die Anfänge des 20. Jahrhundert ein relativ schwaches

¹³ Vgl. ROSER, ORTIZ-OSPINA 2017, World Population Growth

Wachstum aufwies. Vor dem 18. Jahrhundert lag die Wachstumsrate sogar bei weit unter 1 %. Auf die Zeit nach der Industriellen Revolution, bedingt durch die bereits erwähnte Anhebung der Lebensstandards, folgte eine enorme Steigerung der globalen Wachstumsrate, welche im Jahr 1962 bei rund 2,1% gipfelte.¹⁴

Aufgrund des Voranschreitens einzelner Staaten durch die Phasen des demografischen Übergangs, sinkt die Wachstumsrate global. Der Rückgang wird laut Prognosen der United Nations über die nächsten Jahrzehnte noch weiter zunehmen.

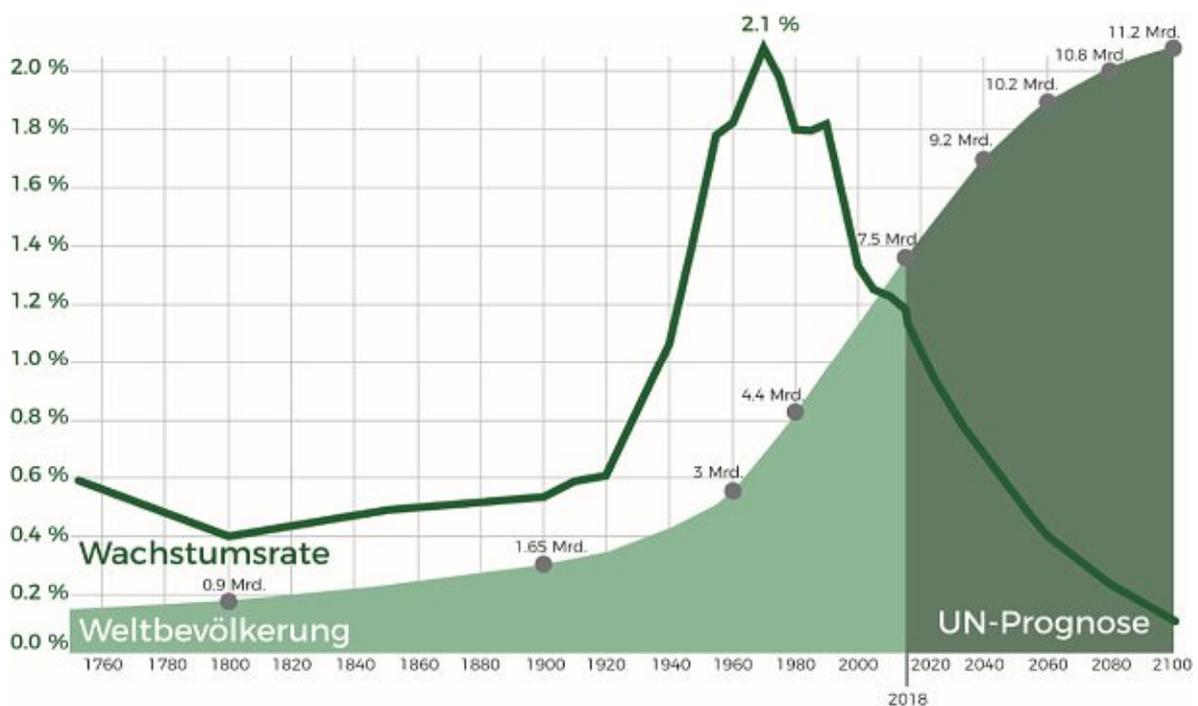


Abb. 7 globale Bevölkerungsentwicklung (mediane Prognose)

In Anbetracht des globalen Wachstums kann die Menschheitsgeschichte in drei Perioden gegliedert werden. Diese erschließen sich aus Trends, die für die jeweilige Zeit distinktiv sind.

Vormoderne Zeit

Sie kennzeichnet eine sehr lange Periode eines äußerst langsamen Wachstums.

Moderne Zeit

¹⁴ Vgl. ROSER, ORTIZ-OSPINA 2017, World Population Growth

Die höheren Lebensstandards beginnend im 18. Jahrhundert führten zu explosivem Wachstum, das im Jahr 1962 seinen Höhepunkt erreicht.

Nachmoderne Zeit

Das Bevölkerungswachstum sinkt global, was laut Prognosen in wenigen Jahrzehnten zu einem Ende des Wachstums führen wird. Somit wird sich die Bevölkerungszahl in dieser Zeit stabilisieren.¹⁵

Bezugnehmend darauf befindet sich die österreichische Bevölkerungsentwicklung noch in einer leichten Wachstumsperiode, auch begründet durch Zuwanderungsbewegungen. Bis ins Jahr 2100 sieht die Statistik Austria ein Wachstumspotential auf bis zu rund 10,1 Mio. Österreicher.¹⁶

1.2.5 STABILISIERUNG

Die Notwendigkeit einer Stabilisierung der aktuellen Entwicklung wird anhand des Beispiels Niger besonders deutlich:

Das Land Niger ist eines der ärmsten der Welt. Hier bekommt eine Frau durchschnittlich sieben Kinder. Die Bevölkerung Nigers wird sich gemäß Prognosen bis 2050 verdreifachen. Die Entwicklung der Infrastruktur, dem Arbeitsmarkt und der Versorgung kann in einem ohnehin armen Land eine dermaßen hohe Anzahl an neuen Menschen einfach nicht standhalten.¹⁷

Um das Ziel der Stabilisierung zu erreichen, sind vier Faktoren entscheidend.

Emanzipation der Frau

Länder in denen Frauen in Relation zu Männern schlechter dastehen (Bildung, Einkommen, Lebenserwartung) sind die Kinderzahlen wesentlich höher, wie in Ländern, in denen Frauen weitestgehend gleichgestellt sind.

Gesundheit

Die Kindersterblichkeit hat einen hohen Einfluss auf die Geburtenzahlen der Frauen. Eine Besserversorgung und somit ein Senken der Kindersterblichkeit

¹⁵ Vgl. ROSER, ORTIZ-OSPINA 2017, World Population Growth

¹⁶ Vgl. <http://www.statistik.at/>

¹⁷ Vgl. Vortrag: KLINGHOLZ, 2016

bewirkt eine Reduktion der Geburten. Erst durch das Wissen, dass ihre Kinder überleben, reduzieren Frauen ihre Kinderanzahl.

Bildung

Die Bildung bei Frauen, vor allem das Absolvieren einer Sekundarstufe wirkt sich positiv auf die Geburtenrate aus. Durch eine Ausbildung wird auch der Karriereweg der Frau zu einer Option. Es sinkt die Anzahl der Kinder und steigt der Abstand zwischen Geburten, was sich positiv auf die Gesundheit von Kind und Frau auswirkt. Höher gebildete Frauen haben einen wesentlichen Effekt auf Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung eines Landes, da sich die Mütter darum bemühen, ein ähnliches Bildungsniveau für ihre Kinder zu erreichen.

Arbeitsplätze

Durch die Industrialisierung konnten die Geburtenzahlen in asiatischen Ländern reduziert werden. Betrachtet man allerdings die Länder der Subsahara, welche in den nächsten Jahrzehnten das größte Wachstum verzeichnen werden, wäre das der falsche Ansatz. Die Industrialisierung betrifft vor allem die Städte, wo die Geburtenzahlen in Relation bereits niedrig sind. Das Schaffen von Arbeitsplätzen in ländlichen Regionen, die Steigerung der Effizienz in der Landwirtschaft, sowie eine Elektrifizierung außerhalb der Städte wären wichtige Schritte in die richtige Richtung.^{18 19}

1.3 KONSEQUENZEN UNGEBREMSTEN WACHSTUMS

Die Welt ist permanent zahlreichen Bedrohungen ausgesetzt. Bei den meisten spielt die Spezies Mensch eine entscheidende Rolle. So droht das stetige Wachstum der Weltbevölkerung, ohne eine Stabilisierung, Unruhen in das bestehende Ökosystem zu bringen.

¹⁸ Vgl. Vortrag: KLINGHOLZ, 2016

¹⁹ Vgl. KLINGHOLZ 2018, S. 36-44



Abb. 8 Effekte eines ungebremsten Wachstums

Die Konsequenzen, die mit ungebremstem Wachstum einhergehen, sind schwerwiegend, weshalb so früh wie möglich dagegen gesteuert werden sollte. Ständiges Wachstum bedeutet ein Mehrbedarf an finiten Ressourcen, welcher unausweichlich zu einer Verknappung ebendieser führt. Nur rund 1% des Wassers ist trinkbar. Um den Nahrungsbedarf der wachsenden Bevölkerung zu decken, werden bereits heute Wälder gerodet und Trinkwasser aufgewendet,²⁰ dennoch leiden aktuell weltweit rund 800 Millionen Menschen an Hunger.²¹

Vor allem Regionen der Welt, welche im demographischen Übergang noch nicht weit genug vorangeschritten sind, müssen aufgrund ihres rapiden Wachstums die bereits knappen Güter (Nahrung, Energie, Medikation) unter immer mehr Menschen aufteilen. Dies wird zu einer Reduktion der durchschnittlichen Lebenserwartung in ebendiesen Teilen der Erde führen und ist Nährboden für Kriminalität. Durch Rodungen und ausbeutende Landwirtschaft wird der Lebensraum vieler Lebewesen zerstört, was zu einer Reduktion in der Biodiversität führt.²²

²⁰ Vgl. <https://www.renewableresourcescoalition.org/>

²¹ Vgl. <https://www.welthungerhilfe.de>

²² Vgl. <https://www.renewableresourcescoalition.org/>

Die Erde bietet der Menschheit über **80.000** essbare Pflanzen, jedoch stammen **90%** der tatsächlich konsumierten Pflanzen von nur **30** verschiedenen Urtypen ab.²³

1.3.1 BESCHLEUNIGTER KLIMAWANDEL

Fortwährendes Bevölkerungswachstum ist vielerorts mit einem simultanen, industriellen Wachstum einhergehend. In den letzten Jahren haben vor allem südostasiatische Länder, wie China und Indien, ihre industriellen Kapazitäten enorm gesteigert. Die Steigerung der Güterproduktion, sowie Energiekonsum gehen Hand in Hand mit der Steigerung der Treibhausemissionen.²⁴ Treibhausgase sind unter anderem von Menschen verursachte Gase (CO₂, CH₄, N₂O, F-Gase) die den Energiehaushalt der Atmosphäre durch Absorption der solaren Infrarot-Strahlung beeinflussen. Spürbar wird dieses Phänomen durch immer häufiger werdende Wetteranomalien, Extremwetterereignisse, sowie der jährlich fortschreitenden Klimaerwärmung.²⁵

Die nachfolgende Grafik zeigt auf, in welcher Korrelation sich der steigende CO₂-Haushalt auf die globalen Durchschnittstemperaturen laut Prognosen der GFDL und dem NCAR bis ins Jahr 2100 auswirken wird.

²³ Vgl. <https://www.ecowatch.com>

²⁴ Vgl. <https://www.renewableresourcescoalition.org/>

²⁵ Vgl. <http://www.umweltbundesamt.at/>

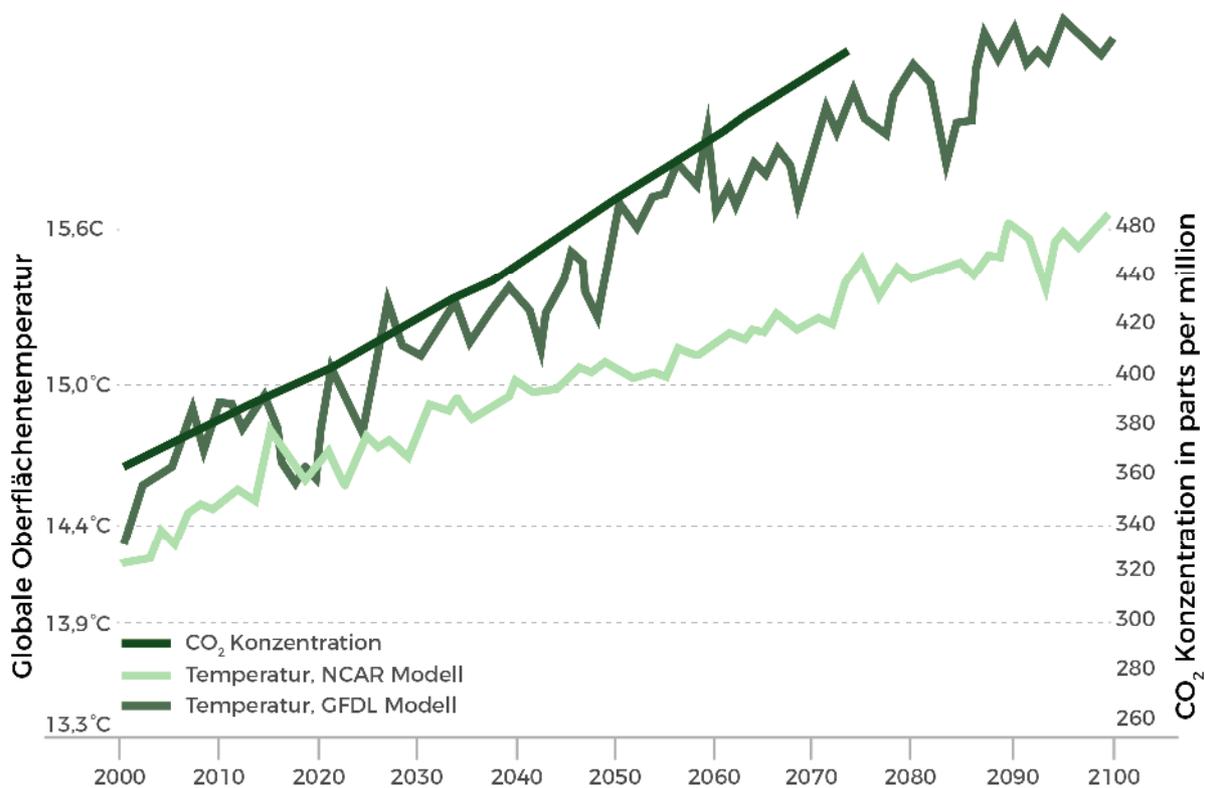


Abb. 9 Globaler Temperaturanstieg in Korrelation zum CO₂-Ausstoß

Der erste wichtige Schritt wurde mit dem Kyoto Protokoll im Jahr 1997 gesetzt. Dieses Abkommen unter Industrieländern hatte Minderung der Treibhausmission zum Ziel. Für Österreich und die restlichen teilnehmenden Europäischen Länder war eine Reduktion der Treibhausgase um 8% bis ins Jahr 2008 vorgesehen.²⁶

Ein weiterer Meilenstein war das Klimapaket 2020 der EU. Das Paket enthält die **Reduktion der Treibhausgase** um 20%, den Umstieg auf 20% erneuerbare **Energien**, sowie die **Effizienzsteigerung** um 20% im Energieverbrauch.²⁷

1.4 DER BEITRAG DER GEBÄUDEINDUSTRIE

Die Bauindustrie ist durch das stetige Wachstum gefordert, kontinuierlich neue Gebäude zu schaffen. Um eine reibungslose Entwicklung des Lebensraumes zu gewährleisten, müssen neben Wohnraum auch Büro-,

²⁶ Vgl. <https://unfccc.int/>

²⁷ Vgl. <https://ec.europa.eu/>

Industrie- und Infrastrukturgebäude errichtet werden. Der gesamte Lebenszyklus eines Bauwerkes, von der Errichtung und Betrieb, bis hin zum Abbruch und Verwertung, erfordert enorme energetische Aufwendungen.

Relativer globaler Anteil: Energieverbrauch

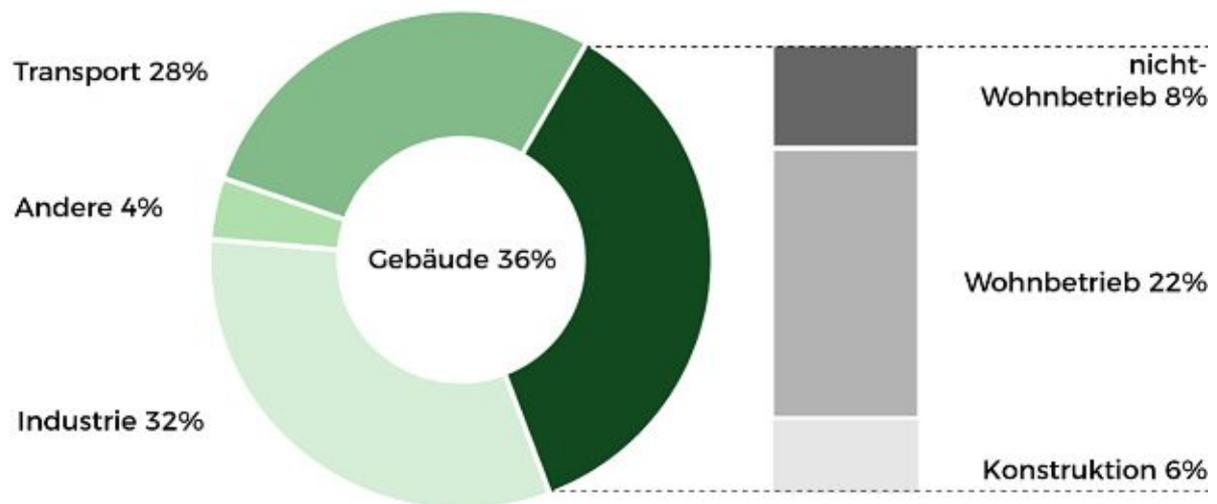


Abb. 10 globaler Energieverbrauch

Der Bausektor beansprucht einen signifikanten Anteil des globalen Energiekonsums. Dies bedeutet natürlich, dass Maßnahmen, die in dieser Industrie gesetzt werden, eine enorme Auswirkung haben können.

Allein die Baukonstruktion, die neben dem Abbruch den kürzesten Abschnitt des Lebenszyklus eines Gebäudes darstellt, schlägt mit rund 6% des globalen Energieverbrauches zu Buche. Der laufende Betrieb eines Gebäudes bis zum Ende des Zyklus macht den Hauptanteil (30%) aus.²⁸ Hierzu zählt vor allem die Gebäudetemperierung, sowie die Verwendung von Elektronik im Alltag.

²⁸ Vgl. IEA 2018, S. 11-14

Relativer globaler Anteil: Treibhausgase

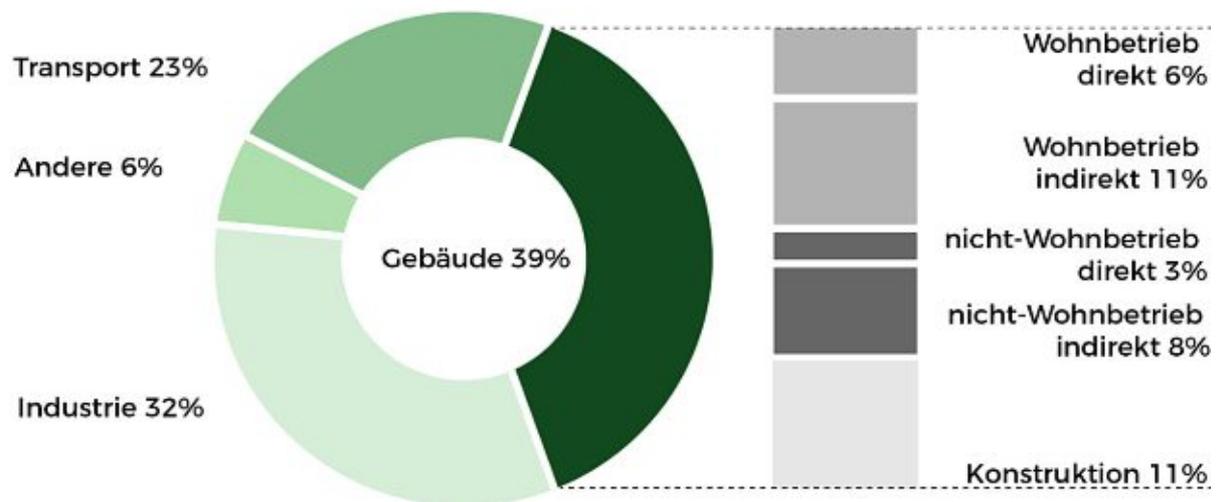


Abb. 11 globale Treibhausgase

Vergleicht man nun die Werte des globalen Energieverbrauchs mit denen der globalen Treibhausemissionen, wird schnell klar, dass im Gebäudesektor vermehrt Baustoffe und Energie verbraucht werden, die mit erhöhten Treibhausemissionen einhergehen.²⁹

Österreich setzt zu großem Teil nach wie vor auf fossile Brennstoffe im Alltag. Zum Heizen sind rund 43% auf diese zurückzuführen, während die Warmwasseraufbereitung immer noch zu 29,7% mit solchen gewährleistet wird.³⁰

Auch in die Produktion von Baustoffen fließen enorme Mengen an Energie. Der Zement als essenzieller Bestandteil von Beton, sowie auch Ziegel müssen gebrannt werden. Durch die Produktion besagter Baustoffe werden Treibhausgase freigesetzt. Außerdem werden viele typische Dämmmaterialien aus fossilen Rohstoffen gewonnen. All dies wirkt sich schlussendlich auf den ökologischen Fußabdruck aus.³¹

²⁹ Vgl. IEA 2018, S. 11-14

³⁰ Vgl. STATISTIK 2016, S. 1

³¹ Vgl. NEROTH et al., 2011, S. 210 und S.1147-1148

1.5 VERSTÄDTERUNG

Unter dem Phänomen Verstädterung wird die überwiegende Verlagerung des Wohnraumes vom Land in die Stadt verstanden.³²

1.5.1 DIE URBANE REVOLUTION

„Tatsächlich sind ja industrielle Revolution und Revolution der Städte (urbane Revolution) zwei Teile, zwei Aspekte einer radikalen Veränderung der Welt. Sie sind zwei (dialektisch vereinte) Elemente ein und desselben Prozesses, ein und derselben Idee, der Idee der Weltrevolution.“³³
- Henri Lefèbvre

Die im Jahr 1970 als solche titulierte Weltrevolution verdient nach Ansichten des marxistischen Soziologen Lefèbvre nur wenig Zuspruch. Einst auf Eigenversorgung bedachte Dorfgemeinden begäben sich immer weiter in Abhängigkeit von Großstädten. Das Zurückdrängen der Agrarwirtschaft zugunsten von Wachstum und Industrialisierung führe schließlich zur Zerstörung bzw. zur Absorption der dörflichen Strukturen durch das Großstadtkonglomerat.³⁴

Während einige Punkte sicher auch heute, fast 50 Jahre später, noch Gültigkeit besitzen, sollte auch erwähnt sein, dass mit der voranschreitenden Industrialisierung und Urbanisierung keineswegs nur Nachteile einhergehen. Es gibt abseits des Arbeits- und Freizeitangebots noch weitere Faktoren, die eine Stadt attraktiv machen und das Wachstum der Städte vorantreiben.

1.5.2 ANTRIEBSMECHANISMEN DER URBANISIERUNG

Grundsätzlich ist die Urbanisierung sowohl Folge, als auch Ursache, eines weitreichenden Wandels der sozioökonomischen Gegebenheiten der Gesellschaft. Durch die Industrialisierung entstanden rund um die städtischen Zentren Manufakturen und Fabriken. Resultierend aus dem Mehrgebot an Arbeit zog es immer mehr Menschen von den ländlichen in die urbanen Räume. Durch diese Entwicklung verlagert sich das produktive

³² Vgl. <http://www.bpb.de>

³³ GUELF 2010, S.25

³⁴ Vgl. GUELF 2010, S.25-26

Kapital immer weiter in die Städte, was zu einer örtlichen Konzentration der Bevölkerung und Wirtschaftsleistung führte.³⁵

Besonders verdeutlicht werden diese Umstände und die zunehmende Wichtigkeit der Stadt, wenn man sich vorstellt, dass momentan 54% der Weltbevölkerung auf knapp 2% der Erdoberflächen leben. Diese Menschen aber rund 80% des BIP produzieren und bis zu 80% der globalen Energie konsumieren, sowie für 75% des weltweiten CO₂-Ausstoßes verantwortlich sind.³⁶

Weitere Pull-Faktoren für die Stadt lassen sich in drei Punkte zusammenfassen:

- Teilen
- Finden
- Innovieren

Durch die räumliche Konzentration in der Stadt, lassen sich die Fixkosten für teure Infrastruktur **teilen**, deren Gebrauch wird erhöht und somit die Effizienz gesteigert. Durch die höhere Dichte der Bewohner erleichtert sich das **Finden** zwischen potenziellen Arbeitssuchenden und Unternehmen, Konsumenten und Handel, sowie Unternehmen und Financiers. Des Weiteren ist die Stadt ein Zentrum der **Innovation**. Der hohe Grad an Interaktionsmöglichkeiten, die vermehrte Ansiedlung von Firmenzentralen sowie der internationale Handel konzentrieren sich in den urbanen Regionen und bilden somit den Nährboden für neue Ideen, Konzepte und Innovation.³⁷

1.5.3 URBANISIERUNGSPOTENZIALE

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts lebten lediglich 10% der Weltbevölkerung in Städten. Die Jahrtausendwende markierte einen entscheidenden

³⁵ Vgl. SIEDENTOP 2015, S. 13-14

³⁶ Vgl. TAUBENBÖCK, WURM 2015, S. 9

³⁷ Vgl. KEUSCHNIGG et al. 2013, S. 24

Wendepunkt in der Urbanisierung. Erstmals lebten weltweit mehr Menschen in der Stadt, als am Land.³⁸



Abb. 12 Urbane Entwicklungsprognose der UN

Die Zahl der aktuell in Städten lebenden Menschen wird sich bis ins Jahr 2050 um 12% auf bis zu 66% steigern. In den hundert Jahren von 1950 bis 2050 wird sich die relative Zahl der Stadtbewohner also mehr als verdoppeln. Die zum heutigen Tag stärksten verstäderten Regionen sind gleichzeitig die wirtschaftlich am weitesten entwickelten.³⁹

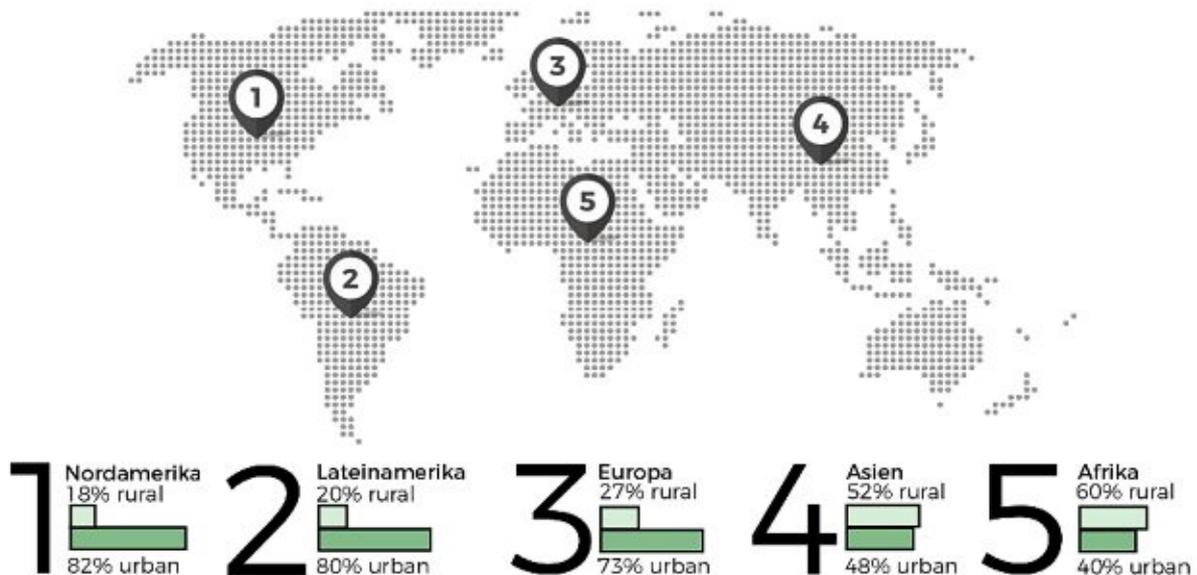


Abb. 13 Urbane und rurale Verteilung global (2018)

Wie in der vorhergehenden Grafik abgebildet, befinden sich die stark urbanisierten Regionen in der westlichen Welt. Dennoch werden sich in den laufenden Jahrzehnten ausnahmslos alle Regionen weiter urbanisieren – Asien und Afrika deutlich mehr wie der Rest. China, Indien und Nigeria alleine

³⁸ Vgl. KEUSCHNIGG et al. 2013, S. 42

³⁹ Vgl. UN 2014, S. 1

werden mit ca. 37% der gesamten Urbanisierung den größten Anteil beitragen.⁴⁰

Auch in Österreich wird sich der Urbanisierungsgrad weiter steigern. Die momentan fünf Millionen in Städten lebenden Menschen (58,3%) werden sich laut Prognosen der UN bis ins Jahr 2050 auf das Urbanisierungsniveau der USA (82%) steigern.⁴¹

1.5.4 BEGRENZTES WIENER BAULAND

Die immer weiter fortschreitende Urbanisierung stellt die Politik vor Herausforderungen. Das Wachstum der Städte fordert einen stetigen Neubau von Wohn-, Arbeits- und Erholungsraum sowie Infrastrukturimmobilien. Da die verfügbaren Flächen in der Stadt, selbst unter Berücksichtigung der Reserveflächen, eine immer geringer werdende finite Ressource darstellen, ist das nachhaltige Wirtschaften mit ebendiesen von höchster Bedeutung. Besonders im urbanen Raum sollte daher eine dichte Bebauungsstruktur angestrebt werden.

In den nächsten 50 Jahren wird Wien voraussichtlich auf ca. 2,3 Millionen Einwohner anwachsen, was ein relatives Wachstum von fast 21% bedeutet. Im Jahr 2025 wird Wien die zwei Millionen Grenze überschreiten.⁴²

Angetrieben durch die anstehenden Herausforderungen, hat sich die Stadt Wien bis 2050 drei große Ziele gesteckt:

- Radikale Schonung von Ressourcen
- Hohe Lebensqualität
- Entwicklung und Einsatz von Innovation⁴³

Die allgemein von der Politik definierten Ambitionen der österreichischen Hauptstadt, können im Gebäudesektor besonders gut verwirklicht werden. Den Gebäuden der Zukunft wird immer mehr abverlangt. Technische Innovation und radikale Ressourcenschonung sind in Anbetracht der

⁴⁰ Vgl. UN 2014, S. 1

⁴¹ Vgl. KEUSCHNIGG et al. 2013, S. 23

⁴² Vgl. EHL, BUWOG 2018, S. 10

⁴³ Vgl. STADT WIEN 2014, S. 30

globalen Entwicklungen von höchster Bedeutung und gehen bei richtiger Umsetzung Hand in Hand mit einer Steigerung der Lebensqualität der Menschen. Neue Materialien, Kompositionen, Entwicklungs- und Nutzungskonzepte befeuern diese Ideen.

1.5.5 DIE VERSTÄDTERUNG NACH EINER GLOBALEN PANDEMIE

Bis vor kurzem schien die unaufhaltbare Verstädterung die logische, und unverrückbare globale Entwicklung zu sein. Vor dem Hintergrund der globalen Covid-19 Pandemie Anfang der 2020er Jahre, ist die unaufhaltsame Entwicklung in der Urbanisierung jedoch nicht mehr so gewiss.

Einige Modelle und Studien zeigen bereits auf, dass sich der Trend der globalen Urbanisierung verlangsamen könnte. Das Zukunftsinstitut beschreibt in seinem White Paper „Der Corona Effekt – Vier Zukunftsszenarien“ mögliche Szenarien, wie sich die Corona Pandemie auf globaler Ebene auswirken könnte.

In den Szenarien wird beispielsweise ein De-Urbanisierungseffekt beschrieben. Anders als bei der bislang vorherrschenden Verstädterung gewinnt dabei das Land gegenüber der Stadt wieder an Macht. Wer es sich leisten kann, zieht in diesem Szenario aus der Stadt aufs Land.⁴⁴

Weiters wird auch die Entstehung einer progressiven Provinz beschrieben. Es wird wieder mehr Wert auf Regionales gelegt. Nachhaltigkeit und Gemeinschaft sind wichtige Werte, die sich jedoch auf eine regionale Ebene beschränken. In der progressiven Provinz erfolgt der weitere Rückzug ins Private. Immer mehr Veranstaltungen werden nur noch gestreamt – durch Virtual Reality kann man von nun an auch von zu Hause aus an Großevents teilnehmen. Anstelle von öffentlichen Verkehrsmitteln wird zunehmend auf das Fahrrad oder auf Elektro-Roller umgestiegen. Weiters beflügeln sogenannte New-Work-Trends (Home-Office, Shared desks) die Arbeitswelt. Die Flexibilität, die während der globalen Corona-Pandemie aus der Not geschaffen wurde, etabliert und festigt sich in der neuen Arbeitskultur. Das Home-Office wird zum fixen Bestandteil jedes Unternehmens. Meetings

⁴⁴ Vgl. Zukunftsinstitut, 2020, S.4

werden zunehmend digital abgehalten und Verträge über Blockchain-Technologie abgeschlossen.⁴⁵

Diese Szenarien sind als Extremszenarien zu verstehen, sollten diese jedoch zumindest teilweise eintreten, würde auch der aktuell vorherrschende Druck auf die Städte abnehmen. Jedoch ist aus aktueller Sicht noch nicht vorhersehbar, wie sich die Pandemie auf einer globalen Ebene entwickeln wird.

Aufgrund der Unvorhersehbarkeit der Auswirkungen muss dennoch auf die vorherrschende Urbanisierung eingegangen werden.

1.5.6 BAUSTRUKTUREN DER STADT

Je stärker eine Stadt wächst, desto immanenter wird das Faktum, dass das vorhandene Bauland begrenzt ist. Beleuchtet man die Aspekte Infrastruktur, Freiraum und Wachstum sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht, wird deutlich, dass sich nicht jede Bebauungsform für eine expandierende Stadt gleichermaßen eignet. Wie in den meisten guten Kompositionen stellt auch im Stadtgefüge ein entsprechender Mix die ideale Form der Bebauung dar, da jede Art mit Vor- und Nachteilen einhergeht.

Eine Form der Verstädterung stellt das Hochhaus dar, welches in Kapitel 2 im Detail vorgestellt wird.

⁴⁵ Vgl. Zukunftsinstitut, 2020, S. 6

2 DAS HOCHHAUS

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird das Hochhaus als Synonym für jegliches hohe Gebäude herangezogen. Dieses Empfinden ist subjektiv und kann von Ort zu Ort stark variieren. In der Bauordnung für Wien gilt ein Gebäude dann als Hochhaus, wenn sein oberster Abschluss inklusive aller Dachaufbauten den tiefsten Punkt zum anschließenden Gelände um 35 m überragt.⁴⁶

2.1 GESCHICHTE

Seine Anfänge nahm das Hochhaus in Chicago im US-Bundesstaat Illinois. Das im Jahr 1884 fertiggestellte Home Insurance Building, entworfen von William LeBaron Jenney, war das erste seiner Art.⁴⁷ Zwei wesentliche Fortschritte waren dafür notwendig. Einen Grundstein dafür legte der Erfinder Elisha Otis 1854 bei der Weltausstellung in New York. Dort präsentierte er seinen verbesserten Aufzug mit Fangvorrichtung. Der Aufzug als solches war zu dieser Zeit bereits erfunden, Otis löste durch seine Vorrichtung lediglich das vorherrschende Sicherheitsproblem, was den Aufzug für große Höhen und schließlich für die Masse der Gebäude tauglich machte. Der zweite wichtige Faktor, die zur Entstehung der Hochhäuser führte war der Stahl-Skelettbau. Dieser ermöglichte eine filigrane Bauweise und löste das bis dahin primär verwendete Mauerwerk als Haupttragstruktur in vielgeschossigen Bauwerken ab.⁴⁸

Beispielhaft sei hier das 65 m hohe Chicagoer Monadnock-Building aus Ziegel erwähnt. Um die anfallenden Lasten aus Eigengewicht und Nutzung abzufangen, war es nötig, die Mauern am Boden in einer Stärke von sagenhaften 1,8 m auszuführen.⁴⁹

⁴⁶ Vgl. <https://www.jusline.at/>

⁴⁷ Vgl. EISELE, KLOFT 2002, S. 11

⁴⁸ Vgl. KLASMANN, 2004, S. 17-18

⁴⁹ Vgl. ebenda, S. 18

Während die Entwicklungen in Amerika Anfang des 20. Jahrhunderts von den europäischen Architekten und Bautechnikern nicht unbemerkt blieben, waren diese gleichermaßen der Meinung, dass Hochhäuser für die gewachsene, innerstädtische Dichte der europäischen Stadt ungeeignet sind. Erst in den 60er Jahren des gleichen Jahrhunderts beginnt das Hochhaus das Stadtbild Zentraleuropas nachhaltig zu prägen.⁵⁰

2.1.1 DER HOCHHAUSBESTAND IN ÖSTERREICH

Bis in die 1950er Jahre waren Hochhäuser in Wien und Österreich kaum ein Thema. Bauliche Entwicklungen im Herzen Wiens waren überwiegend horizontal angelegt, mit Ausnahme von Kirchtürmen, Herrschafts- und Wehrbauten. Das 1934 fertiggestellte, mit einer Höhe von 52 m erste Hochhaus in Österreich befindet sich in der Wiener Herrengasse und ist ein Vorreiter seiner Art.^{51 52}

Erst im Zuge des Wiederaufbaus nach dem Zweiten Weltkrieg wurde die bis dahin niedrige Anzahl an Hochbauten um neu geplante und gebaute Hochhäuser erweitert. Durch die neu geschaffene Bauklasse VI (über 26 m) konnten neue Hochhausbauten entstehen. Der Ringturm, der 71 m misst, diente nach seiner Errichtung als Vorbild für eine Vielzahl folgender Hochhausprojekte, deren Bauhöhe, die des Ringturms nicht überschritt.⁵³

Zum Anfang des Jahres 2019 überschreiten bereits 27 Hochhäuser die 80 m Marke. Vier weitere befinden sich in der Pipeline. Mit einem Anteil von 96% befinden sich beinahe alle davon in der Bundeshauptstadt. Die einzige Ausnahme bildet der Terminal Tower in Linz (98,5 m)⁵⁴

⁵⁰ Vgl. EISELE, KLOFT, 2002, S. 14

⁵¹ Vgl. <http://www.hochhauserrengasse.at/>

⁵² Vgl. MA 21, 2014, S. 11-12

⁵³ Vgl. MATZNETTER, MUSIL, 2013, S. 14, 19

⁵⁴ Vgl. <https://austria-forum.org/>

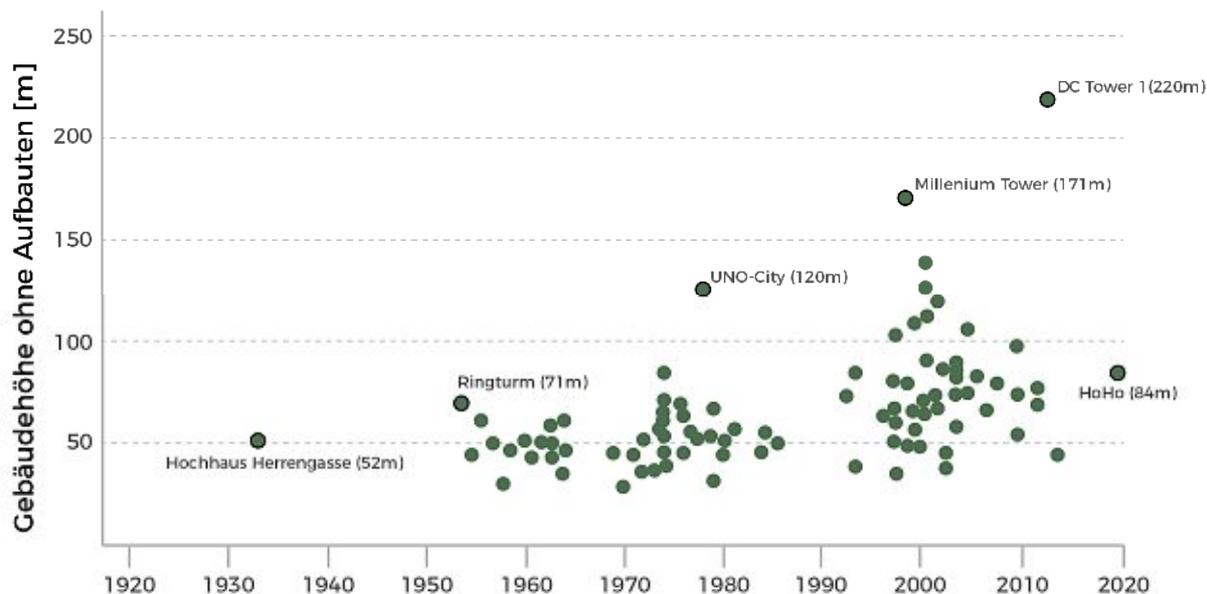


Abb. 14 Entwicklung der Hochhäuser in Österreich

2.2 HOCHHAUS IN DER STADTSTRUKTUR

Der Einzug der Hochhäuser in die europäischen Städte, gegenüber deren nordamerikanischen Pendanten, unterlag zeitlich einer starken Verzögerung. Weiters zeigen sich grundlegende Unterschiede in den Verteilungsschemen der Stadträume. Vor allem der Anspruch an traditionelle städtebauliche Leitbilder, sowie kulturelle Werte der Altstädte haben dazu geführt, dass Hochhäuser aus den Zentren eher an den Rändern der Städte realisiert wurden.⁵⁵

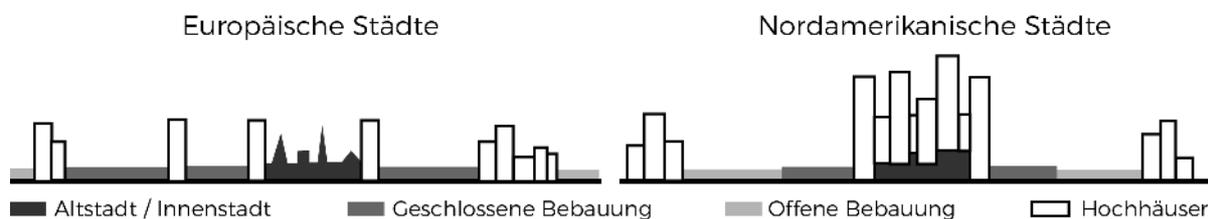


Abb. 15 Verteilungsschema der Hochhäuser in der Stadt

⁵⁵ Vgl. MATZNETTER, MUSIL, 2013, S. 14

Paradebeispiele für die Auslagerung der Hochhäuser aus der Altstadt sind der Pariser Stadtraum „La Défense“, sowie die Donaucity in Wien.⁵⁶

2.3 VORZÜGE DES HOCHHAUSBAUS

Die in Kapitel 1 erwähnten aktuellen demographischen Entwicklungen üben enormen ökonomischen Druck auf die städtischen Bauflächen aus. Eine möglichst wirtschaftliche Ausnutzung wird immer schwieriger. Die zahlreichen Vorteile, die sich aus dem Hochhausbau ergeben bieten vor allem im dicht bebauten Stadtgefüge eine große Chance zur Entwicklung eines qualitativ hochwertigen Stadtraumes.

2.3.1 SYMBOLISMUS

Seit Anbeginn der Geschichte ist das Streben nach Größe eine intrinsische Charaktereigenschaft des Menschen. Die architektonischen und ingenieurstechnischen Meisterleistungen vermitteln nach Außen ein Bild der sozioökonomischen Machtstellung eines führenden Wirtschaftszentrums. Gelungene Hochhausprojekte stellen für Projektentwickler, Architekten, Ingenieure und Einwohner gleichermaßen ein Aushängeschild dar.⁵⁷

2.3.2 URBANE REGENERATION

Der Komfort, der mit dem städtischen Lebensstil einhergeht, erfährt in den letzten Jahrzehnten zunehmenden Zuspruch. Vor allem junge Leute zieht es zunehmend in die Ballungsräume, wo sich Wohn- und Arbeitsraum in unmittelbarer Nähe zueinander befinden. Ältere Menschen zieht vor allem das soziokulturelle Angebot, das Wegfallen von anstrengenden Instandhaltungsarbeiten und das Zurücklegen großer Distanzen in die Stadt. Dies sind keine reinen hochhauspezifischen Faktoren. Allerdings ermöglichen Hochhäuser eine kompaktere Verteilung des Angebots sowie die Aufwertung von Stadtteilen.⁵⁸

⁵⁶ Vgl. MATZNETTER, MUSIL, 2013, S. 15

⁵⁷ Vgl. AL-KODMANY, 2012, S. 140

⁵⁸ Vgl. ebenda, S. 135

2.3.3 GRUNDPREISE

Einer der wichtigsten Gründe für Hochhäuser im dicht bebauten Stadtraum sind die stetig wachsenden Grundstückspreise. Vor allem in Großstädten steigen die Preise enorm, während in Kleinstädten und in ländlichen Regionen die Grundstückspreise gering sind und so die Gebäude verhältnismäßig niedrig gehalten, da sich Hochhäuser in diesen Regionen schlicht wirtschaftlich nicht auszahlen. Waren Hochhäuser bis vor einigen Jahrzehnten noch überwiegend Büroimmobilien, spielen Hochhäuser mit gemischter Nutzung (Wohnen, Freizeit, Arbeit) eine immer größere Rolle. Je entwickelter der Stadtraum ist, desto weiter steigen die Grundstückspreise. Zudem sind geographische Begrenzungen (Berge, Gewässer) weitere Triebkräfte dieser Entwicklung.⁵⁹

2.3.4 LANDVERBRAUCH

Immer mehr Städte pochen auf die nachhaltige Entwicklung ihres Stadtgebietes. Ein kompaktes, urbanes Leben kann Teil der Nachhaltigkeit sein, da durch dieses weniger Flächen versiegelt werden. Das Hochhaus und seine hohe Dichte können somit ein wichtiges Instrument für eine nachhaltige Stadt- und Raumplanung sein.

2.3.5 TRANSPORT UND INFRASTRUKTUR

Kompakte Stadtstrukturen, befördert durch den Hochhausbau, reduzieren Wege und dadurch transportbedingte CO₂-Emissionen. Wie in Abb. 10 ersichtlich, trägt diese mit 23% nicht unwesentlich zum globalen Haushalt bei. Die Welt rückt durch die Globalisierung immer mehr zusammen. Die Reisebereitschaft der Menschen steigt. Durch eine kompakte Stadtstruktur lässt sich die Notwendigkeit, Wege zurückzulegen, um bis zu 40% verringern, da sich diese effizient vereinen lassen (Arbeitsweg, Einkaufen, Freizeit).⁶⁰

⁵⁹ Vgl. AL-KODMANY, 2012, S. 136

⁶⁰ Vgl. ebenda, S 138

Transportbedingter Energiekonsum (Gigajoule per capita und Jahr)

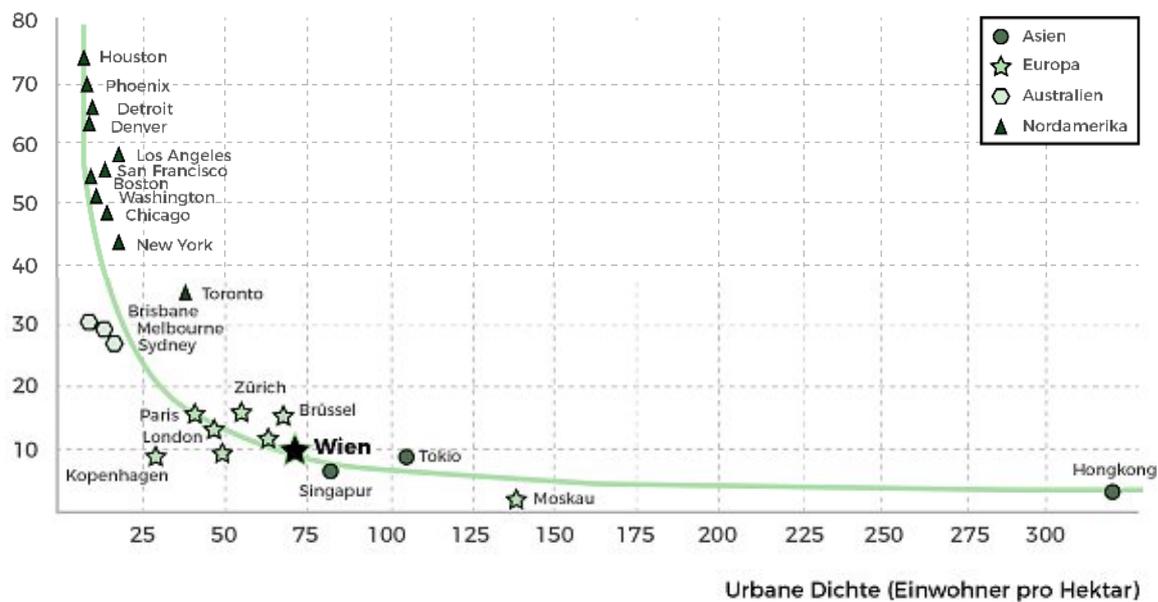


Abb. 16 Transportbedingter Energiekonsum gegenüber städtebaulicher Dichte

Die klassische Hochhausstadt Hongkong ist eine der transporteffizientesten Städte der Welt. Die horizontale Ausbreitung von Städten führt zu hohen Kosten und belastet den Steuerhaushalt, denn für zersiedelte Gebiete müssen überdurchschnittlich viele Straßen, Kanäle, Gehwege, Wasser-, Strom- und Gasversorgung, sowie weitere kostspielige Infrastruktur geschaffen werden.⁶¹ Auch Wien ist mit seiner für Europa durchschnittlichen Dichte sehr effizient, lediglich die amerikanischen Städte sind weit abgeschlagen.

2.3.6 KLIMAWANDEL UND ENERGIE

Aktuell verbrauchen Hochhäuser im Durchschnitt mehr Energie als niedrige Häuser. Wasser und Liftanlagen, die große Höhen überwinden müssen, verbrauchen große Mengen Strom. Jedoch haben Hochhäuser das Potenzial, energieeffizienter zu werden als deren niedrigeren Äquivalente, denn ein Großteil der Energie wird zur Klimatisierung (heizen, kühlen, lüften) eines Gebäudes aufgewendet und über die Fassade und das Dach verloren. Vergleicht man nun kompakte Gebäude (z.B. Hochhäuser) mit kleineren Gebäuden (z.B. Einfamilienhäuser, Duplex) so wird schnell klar, dass bei

⁶¹ Vgl. AL-KODMANY, 2012, S. 139

derselben Nutzfläche die Gebäudehülle bei den kleinen Gebäuden wesentlich größer ist als bei großen.⁶²

Der Klimawandel erfordert eine neue Generation von Gebäuden, die sowohl im Betrieb als auch in der Konstruktion wesentlich klimafreundlicher sein muss.

2.4 DIE SCHWÄCHEN DES HOCHHAUSBAUS

Neben den zahlreichen Vorzügen, die Hochhäuser mit sich bringen, gibt es Eigenschaften, die gegen den Bau eines solchen sprechen. Viele dieser lassen sich aber durch technologischen Fortschritt und Weitsicht überwinden.

2.4.1 ERBE UND SYMBOLISMUS

Viele Städte leiden darunter, dass es nicht von Anfang an eine konkrete Strategie für den Hochhausbau gegeben hat. Hochhäuser müssen mit dem historisch gewachsenen Kern in Einklang gebracht werden, und nicht mit diesem in Konflikt stehen. Eine Verbannung an die Ränder der Städte und somit die komplette Isolierung der Hochhäuser, ist deshalb der genauso falsche Ansatz, wie diese rücksichtslos im Zentrum – inmitten von historischen Bauwerken – zu verorten.⁶³

2.4.2 SOZIOKULTUR

Für Menschen in traditionellen Gesellschaften, die seit Jahrhunderten in einer niedrigen Stadt-, Ein- und Mehrfamilienhäusern wohnen, kann der Gedanke in einem Hochhaus zu wohnen Unbehagen auslösen. In Teilen der Bevölkerung können sich sogar Höhenangst und Klaustrophobie manifestieren. Die gelebte Nachbarschaft in einem Hochhaus unterscheidet sich grundlegend von einer in normalen Gebäuden. Die Vertikale Struktur befördert Anonymität und Isolierung. Während das Hochhausleben für viele Singles und junge Paare Komfort und Status bedeuten kann, ist es für

⁶² Vgl. AL-KODMANY, 2012, S. 138

⁶³ Vgl. ebenda, S. 142

Familien mit Kindern, die beaufsichtigt werden müssen, weniger erstrebenswert.⁶⁴

2.4.3 WIRTSCHAFTLICHKEIT

Während im Grundankauf Kapital gespart werden kann, erfordern andere Positionen im Hochhausbau mehr Kapital. Das Fundament muss den hohen Wind-, Erdbeben-, Eigen- und Nutzlasten standhalten. Um den Betrieb zu gewährleisten, bedarf es hochtechnischer Lift-, Elektrik- und Brandschutzanlagen, welche sich sowohl in der Anschaffung als auch im Betrieb im Preis abzeichnen. Durch ihre schlanke Bauweise verliert ein Hochhaus pro Etage einen größeren Anteil der Nutzfläche an die benötigten Infrastruktur Elemente (Lift, Schächte, Fluchttreppen). So können bei Wolkenkratzern rund 70% der Fläche wirtschaftlich verwertet werden, während bei niedrigen Häusern die verwertbare Fläche bei ca. 80 % liegt.⁶⁵

In typischen Kleinstädten ist der Hochhausbau eher unrentabel, da mit hohen Leerständen zu rechnen ist. Durch Hochhäuser können ganze Stadtteile aufgewertet werden, was preisliche Anstiege mit sich bringt und ärmere Menschen aus ihrer Wohnumgebung drängt. Es kann aber auch der gegenteilige Effekt auftreten, indem eine Gegend durch die neugeschaffene Dichte zunehmend überfüllt und die Infrastruktur dadurch überlastet.⁶⁶

2.4.4 TRANSPORT UND INFRASTRUKTUR

Durch die Überfüllung von Stadtteilen verringert sich die Lebensqualität nachhaltig. Ein wesentlicher Faktor, um dem entgegenzuwirken, ist ein gelungenes Infrastrukturkonzept. Durch die neu geschaffene Dichte erhöht sich der Bedarf für Transport (Straßen, Gehwege, öffentliche Verkehrsmittel, Parkplätze, etc.) und Infrastruktur (Kindergärten, Krankenhäuser, Parks, etc.). Unzureichende Planung verursacht Stau, Verschmutzung und Lärm. Weiters bedeutet ein Hochhaus immer eine Zusatzbelastung für das existierende Strom-, Wasser- und Kanalsystem.⁶⁷

⁶⁴ Vgl. AL-KODMANY, 2012, S. 142

⁶⁵ Vgl. ebenda, S. 142

⁶⁶ Vgl. ebenda, S. 140, S. 142

⁶⁷ Vgl. ebenda, S.141

2.4.5 UMWELT

Neben den Chancen, die Hochhäuser für eine Umgebung bringen, können diese auch ungünstige Effekte auf das Mikroklima haben. Hochhäuser können als Trichter fungieren und so Winde und Turbulenzen erzeugen, die sich in der Erdgeschosszone für die Menschen bemerkbar machen. Durch ihre Höhe und ihre schlanke Erscheinung werfen sie lange Schatten auf benachbarte Liegenschaften. Alte Hochhäuser sind oft thermisch sehr ineffizient und verbrauchen Unmengen Energie für die Klimatisierung. Neue Designs müssen deshalb energieeffizient geplant werden. Die meisten der heute realisierten Hochhäuser benötigen eine enorme Menge an grauer Energie, welche in der Bauphase, dem Transport und der Materialerzeugung konsumiert wird.⁶⁸

⁶⁸ Vgl. AL-KODMANY, S. 141

3 DAS HOLZHOCHHAUS: TECHNISCH

Während beim klassischen Hochhausbau aus Stahl und Beton enorme Mengen an grauer Energie verbraucht und CO₂ freigesetzt werden, stellt der Baustoff Holz eine klimaschonende Alternative dar. Holz ist einer der ältesten verwendeten Baumaterialien – dieses auch als Haupttragstruktur in einem Hochhaus zu nutzen kann sehr viele technische, ökologische und ökonomische Vorteile, aber auch Herausforderungen in technisch, rechtlicher und soziokulturellen Bereichen mit sich bringen. Dieses Kapitel beleuchtet und analysiert sämtliche technischen Aspekte des Holzhochhauses.

3.1 DIE HOLZVORKOMMEN

Die Ressource Holz ist eines der wenigen nachwachsenden Baumaterialien, welches sich in vielerlei Hinsicht verwenden lässt:

- Statisch relevante Elemente (Vollhölzer, Leimhölzer)
- Dämmende Elemente (Zellulose, Holzfaser, usw.)
- Verkleidungselemente (Schindeln, Fassadenplatten, usw.)

Der Rohstoff hat ein erhebliches Potenzial CO₂ zu speichern, da es aus bis zu 50% Kohlenstoff besteht. Während Holz in vielen Regionen der Erde – ganz besonders in Österreich – dezentral zur Genüge vorhanden ist, können weite Wege und somit Energie und Treibhausgase für den Transport der Güter gespart werden.⁶⁹

Um den Treibhausgasanteil des Bausektors wesentlich zu senken gibt es zwei Möglichkeiten:

- Reduktion von CO₂-Emissionen
- Kohlenstoffsенke – der Kohlenstoff wird aus der Atmosphäre entzogen

Durch seine physischen Eigenschaften ist das Holz in der Lage beide Bereiche abzudecken. Holz speichert den Kohlenstoff bis zu seiner Entsorgung

⁶⁹ Vgl. proHolz Hrsg. 2017, S. 4

(Verbrennung / Verrottung) langfristig ein und wird diese erst dann wieder an die Atmosphäre abgegeben.⁷⁰

3.1.1 KOHLENSTOFFSPEICHER UND KOHLENSTOFFSENKE

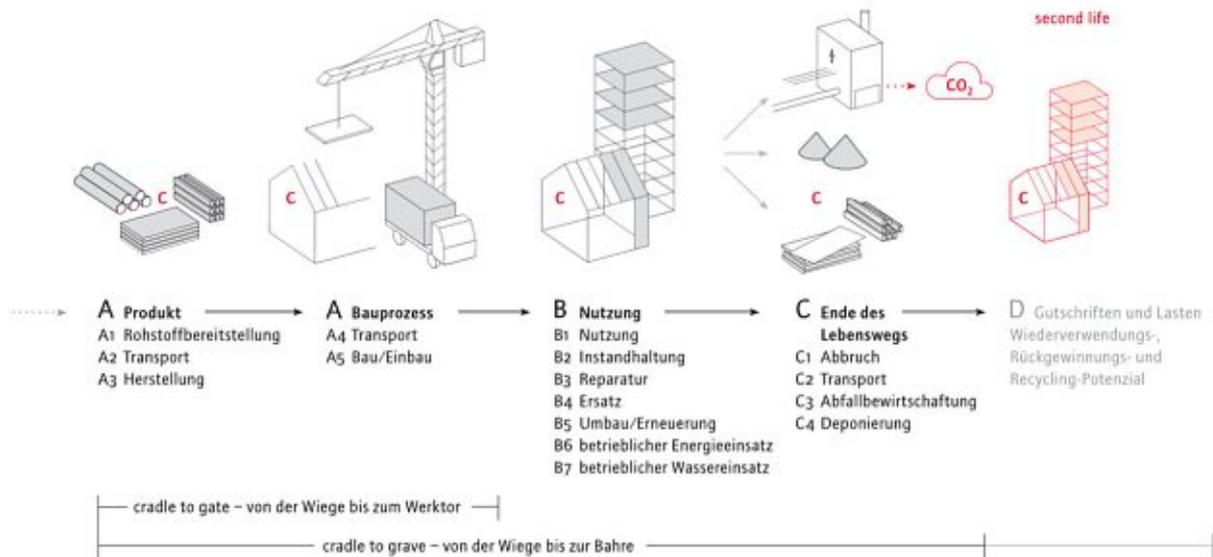


Abb. 17 Holzkreislauf

Das Ziel einer möglichst klimaneutralen Bauweise ist es, die durch graue Energie stark belastete Materialien wie Stahl, Erdölzeugnisse und Beton weitestgehend durch nachwachsende Rohstoffe wie Holz zu substituieren. Dabei liegt es vor allem in den Händen der Architekten und Projektentwickler sich für solche Materialien zu entscheiden, denn die Substituierungswirkung ist während des Entwurfs in der Planung noch maßgeblich steuerbar und nimmt mit Fortschreiten des Projektes stetig ab. Dies ist vor allem durch die Wahl von folgenden Materialien beeinflussbar:⁷¹

- Konstruktionsmaterialien
- Fassadenmaterialien
- Dämmmaterialien
- Konstruktionssysteme (Recyclingfähigkeit)
- Ausbaumaterialien
- Regionalität der Produkte

⁷⁰ Vgl. proHolz Hrsg. 2017, S. 6

⁷¹ Vgl. ebenda, S. 7

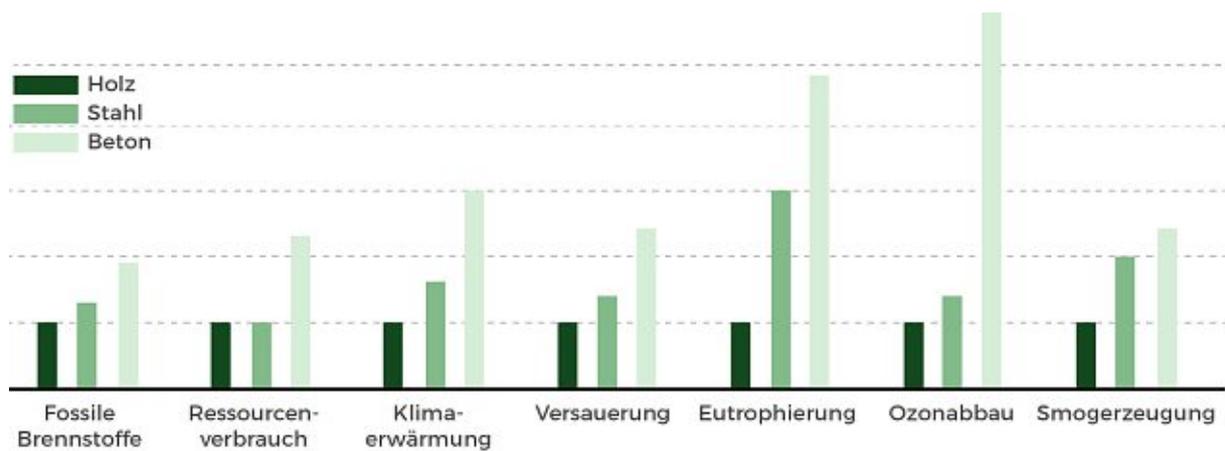


Abb. 18 Vergleich der ökologischen Auswirkungen von wichtigen Baustoffen

Bei der bauteilspezifischen grauen Energie kommt es bei weitem nicht nur auf die Entfernung an. So kann es sein, dass für Großbritannien (wo schlicht die Vorkommnisse und Infrastruktur für Massivholzelemente fehlt) gilt, dass selbst durch die Anlieferung solcher aus Österreich via LKW unterm Strich eine günstigere CO₂-Bilanz hat, als im Inland erzeugter Beton.⁷²

3.1.2 DER FORST

Rund 42% des europäischen Raumes sind mit Wald bedeckt. Es werden jedoch lediglich rund zwei Drittel des alljährlichen Zuwachses verwertet, was bedeutet, dass die europäischen Wälder jährlich um rund ein Drittel wachsen. Der Umsatz im Forstsektor entspricht in etwa 1% des europäischen BIPs. Der geerntete Holzrohstoff wird in vier Hauptbereichen verwertet:⁷³

- Energiegewinnung (42%)
- Sägewerke (24%)
- Papierindustrie (17%)
- Holzplattenindustrie (12%)

⁷² Vgl. Green 2017, S. 18

⁷³ Vgl. proHolz Hrsg. 2013, S. 15

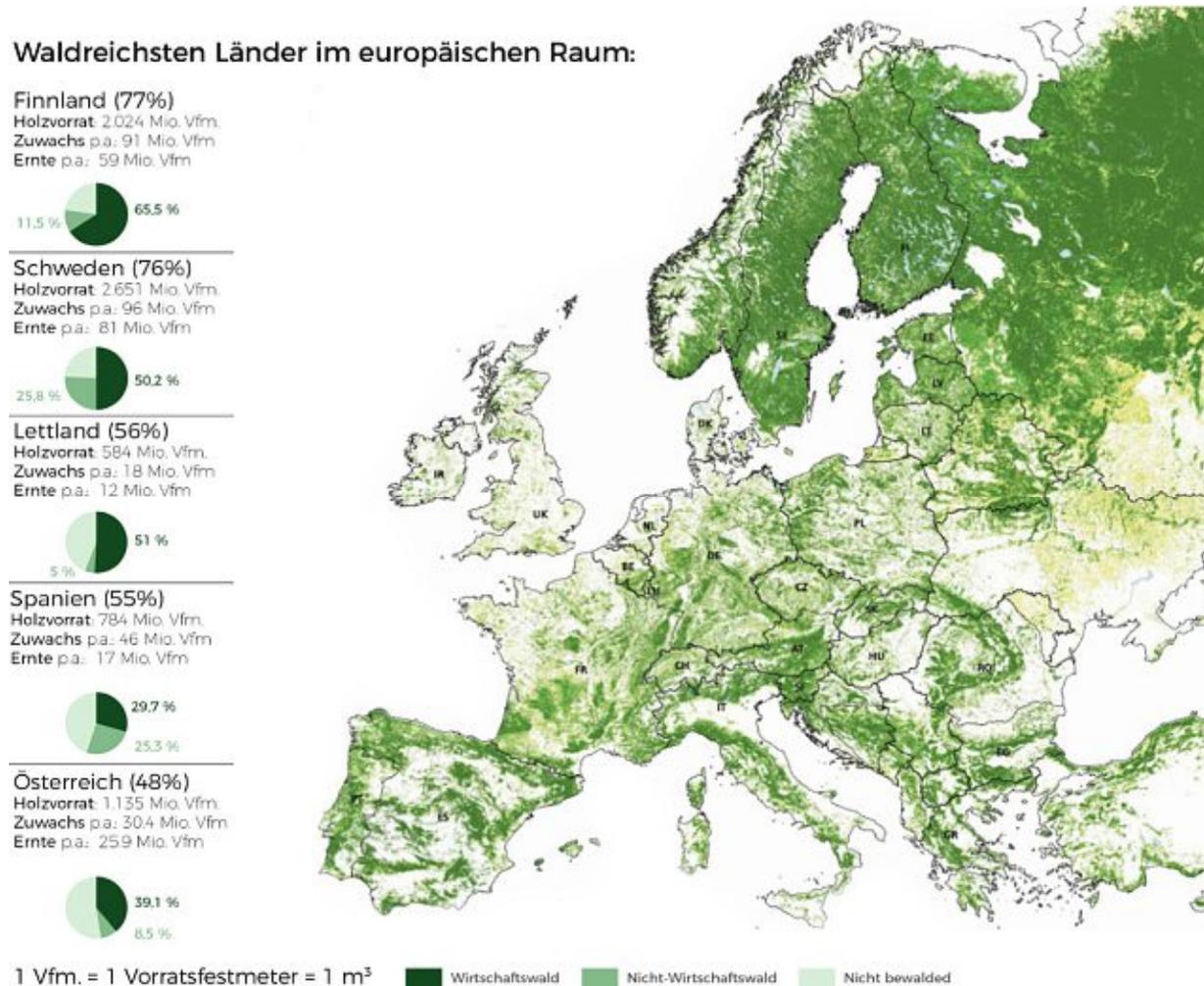


Abb. 19 Der Wald in Europa

Österreich ist mit ca. 48% unter den waldreichsten Ländern Europas. Die heimische Fichte ist mit einem Anteil von 60% die häufigste vorkommende Art in Österreich.⁷⁴

3.1.2.1 DIE ÖKOLOGIE DES WALDES

Der Zyklus des nicht bewirtschafteten Waldes verläuft CO₂-Neutral. Der in den ersten 150 Jahren gespeicherte CO₂-Anteil wird in den darauffolgenden durch Verwitterung wieder an seine Umwelt abgegeben. Im Gegenzug dazu wird der Wirtschaftswald in seiner Optimal-Phase gehalten. Durch die Ernte vor dem Erreichen des Höchstalters und seiner Verwitterung, wird das Holz während der Zeit der Kohlenstoffsénke verwertet. Dies ermöglicht innerhalb

⁷⁴ Vgl. proHolz Hrsg. 2013, S. 16

der gleichen Zeit zwei Zyklen, und damit die doppelte Bindung an CO₂. Er ist somit als wesentlich effektiver zu betrachten als der gewöhnliche Urwald.⁷⁵

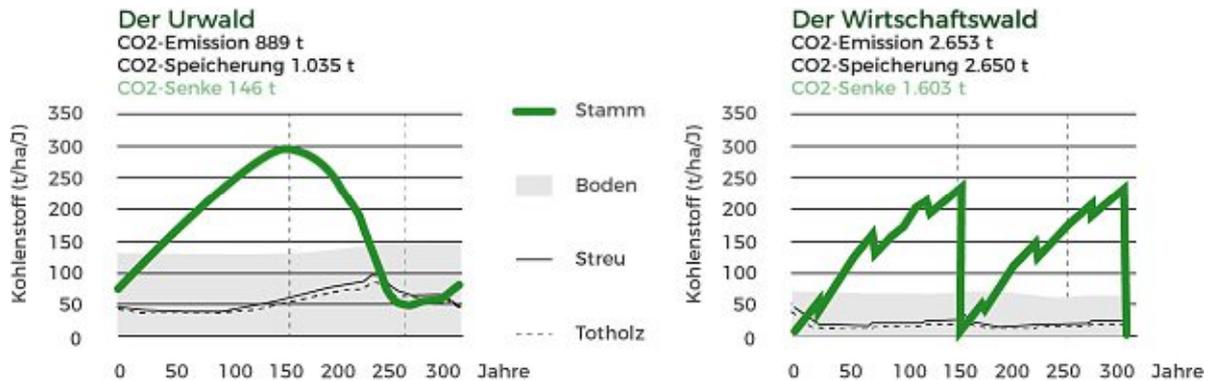


Abb. 20 CO₂-Bindung in einem Urwald verglichen mit dem Wirtschaftswald

3.2 BAUMATERIAL HOLZ

Holz ist im Unterschied zu mineralischen Baustoffen (Ziegel, Beton, usw.) weicher und biologisch abbaubar. Bei fehlerhaftem Einsatz von Vollhölzern können jedoch erhebliche Schäden durch Brände und Fäulnis auftreten. Diese intrinsische Eigenschaft der Massivhölzer kann jedoch durch moderne Verarbeitungsmethoden adaptiert werden, beispielsweise gelten folgende Holzbauprodukte als stärker, gleichmäßiger und formstabiler als herkömmliches Bauholz:⁷⁶

- BSP (Brettsperrholz)
- FSH (Furnierschichtholz)
- LSL (Spanstreifenholz)
- PSL (Furnierstreifenholz)
- BSH (Brettschichtholz)

Die Stabilität und Tragfähigkeit des Materials wird vor allem durch seine Faserrichtung und Feuchtegehalt bestimmt, da es sich um ein biologisches Material handelt, das durch Struktur aus Zellen gebildet wird.⁷⁷

⁷⁵ Vgl. proHolz Hrsg. 2013, S. 16

⁷⁶ Vgl. Green 2017, S. 25

⁷⁷ Vgl. ebenda, S.25

3.2.1 EINFLUSS DURCH HOLZFEUCHTE

Generell kann man zwei Arten von Feuchte in Hölzern unterscheiden. Bei der **gebundenen Holzfeuchte** handelt es sich um die natürlich vorkommende Feuchte, in der sich Wassermoleküle in den Zellwänden des Holzes durch chemische Bindung einlagern. Von **freier Holzfeuchte** spricht man dann, wenn sich lediglich durch Kapillarkräfte Feuchtigkeit zwischen die Holzfasern lagert. Der Feuchtegehalt wird durch das Gewicht des Wassers in Relation zum Trockengewicht der Holzart in einem Prozentbetrag ausgedrückt. Das Holz eines lebenden Baumes weist einen Feuchtegehalt von rund 50% auf, während die Feuchtigkeit bei getrocknetem rund 20% und künstlich getrocknetem Holz auf bis zu 8% reduziert werden kann. Zum Herstellen eines Gleichgewichts mit der Umgebung setzt das Holz seine Feuchte entweder frei, oder nimmt diese aus der Umgebung auf. Durch die Abgabe von Feuchtigkeit schrumpft (schwindet) das Holz, durch Aufnahme wächst (quillt) es. Quer zur Faser um ca. 1% pro 5% verringerter Feuchtegehalt, während parallel zur Faser mit rund $\frac{1}{10}$ des Wertes gerechnet wird. Diese Werte mögen gering erscheinen, sie können sich aber bereits bei niedrigen Spannweiten stark auswirken. Kommt Holz also in Hochhäusern als primäres Baumaterial zum Einsatz, ist die Maßhaltigkeit und der Entwurf so zu optimieren, dass eventuell auftretende Feuchtebewegungen und das Schwinden so gering wie möglich gehalten werden.⁷⁸

Aufgrund dessen wird in der Regel das bei Holzhochhäusern verbaute Material künstlich getrocknet. Diese Trocknung wird in Spezialöfen vollzogen, in denen das Holz auf Regalen mittels gezielter Luftzirkulation auf den gewünschten Trockengrad gebracht werden kann.⁷⁹

3.2.2 FESTIGKEIT DES HOLZES

Baumarten besitzen verschiedene Hölzer mit Unterschiedlichen Eigenschaften hinsichtlich ihrer Festigkeit, Wetterbeständigkeit und

⁷⁸ Vgl. Green 2017, S. 26

⁷⁹ Vgl. ebenda, S. 26

Formbeständigkeit. Im zentraleuropäischen Raum werden vor allem die gewöhnliche Fichte und die Waldkiefer als Konstruktionsmaterial und die Lärche als Verkleidungsmaterial verwendet. Die Festigkeit eines Materials beschreibt seine Fähigkeit Belastungen (Druck, Zug, Biegung, Scherung, Torsion) aufzunehmen, ohne, dass der Baukörper unter diesen Lasten versagt.⁸⁰

Generell gilt das Holz als stark richtungsabhängiges Material. Seine Festigkeit ist parallel zur Faser bei weitem am stärksten ausgeprägt, während es quer oder tangential zur Faser bedeutend schwächer ist. Ein weiteres Merkmal, das Holz aufgrund seines biologischen Ursprungs innehat, ist seine Variabilität. In der Natur gleicht kein Lebewesen dem anderen, und so variiert auch die Beschaffenheit des Materials hinsichtlich Festigkeit, Wetterbeständigkeit und Formbeständigkeit. Dieser Effekt ist vor allem durch unterschiedliche Faserstrukturen, Äste und Risse im Holz bedingt.⁸¹

Diese, im Material vorkommende, Heterogenität wird in der Industrie durch das Erzeugnis so genannter Holzwerkstoffe umgangen. Durch die Schaffung von standardisierten Holzwerkstoffen erhöht sich die Tragfähigkeit gegenüber herkömmlichem Vollholz und minimiert gleichzeitig die Abweichungen.

3.2.3 HOLZWERKSTOFFE

Der Holzwerkstoff ist ein Verbund aus Holzstreifen, Furnieren, kleineren Massivholzstücken oder Holzfasern, der durch künstliche Trocknung und präziser Verarbeitung hergestellt wird. Das Produkt ist in Summe stärker und steifer als die eingesetzten Rohmaterialien. Durch die Verwendung kleiner Einzelteile wird die Verwendung größerer Anteile des Baumes als Baumaterial begünstigt. Im Holzhochhausbau werden vor allem Balken- und Plattenelemente verwendet. Diese sind in ihrer Dimension lediglich durch den gewöhnlichen Transport im Straßenverkehr in der Regel auf 2,5-3 m beschränkt.⁸²

⁸⁰ Vgl. Green 2017, S.26

⁸¹ Vgl. ebenda, S.27

⁸² Vgl. ebenda, S.27

3.2.3.1 VERBUNDMITTEL

In der Regel werden zur Fertigung von Holzwerkstoffen Kleber auf Formaldehydbasis verwendet. Eine Ausnahme stellen hierbei mechanische Verbindungen dar. Hier wird der Verbund durch die Verwendung von Dübeln, Schrauben, und dergleichen gewährleistet. Die Art des verwendeten Klebstoffes hängt einerseits von der Prozesstemperatur ab, andererseits davon, ob der Werkstoff im Innen- oder im Außenbereich zum Einsatz kommt. Eine weitere Rolle spielt, ob das Endprodukt nach Einbau sichtbar bleiben soll. Formaldehyd ist eine in Holz natürlich vorkommende Verbindung. Die Verwendung wird durch strenge Umweltnormen reguliert, da die entstehenden Dämpfe in hohen Konzentrationen gesundheitsschädlich sind.⁸⁵

3.2.3.2 DAS BRETTSCHICHTHOLZ (BSH)

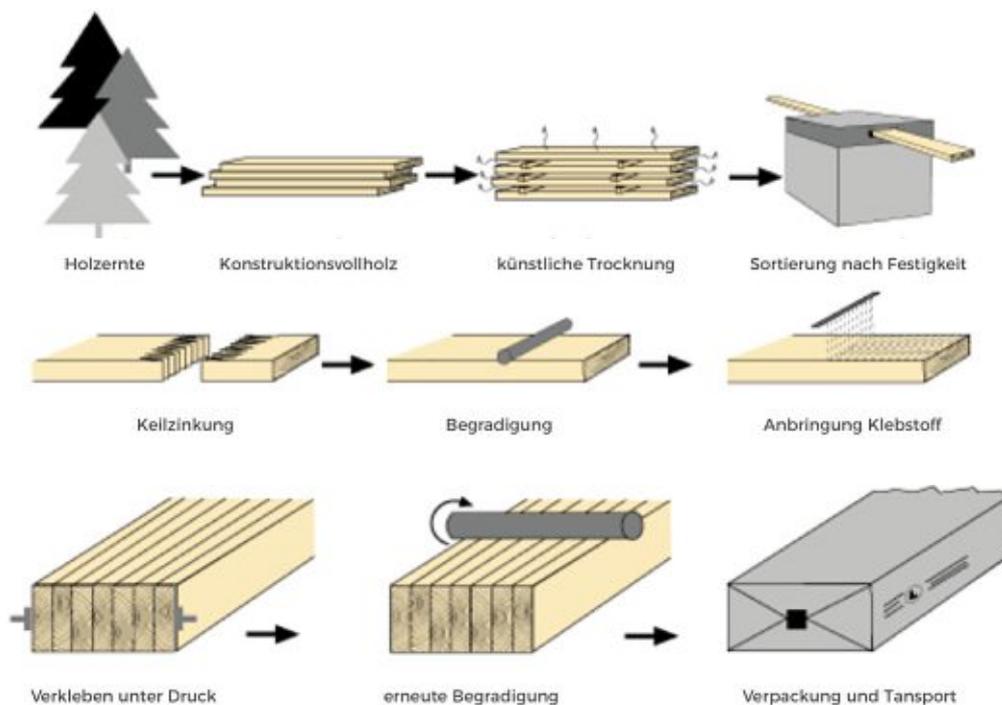


Abb. 21 Herstellungsprozess Brettschichtholz

Prinzipiell können zur Fertigung von Brettschichtholz jegliche Holzsorten verwendet werden, solange das richtige Bindemittel verwendet wird. In der Praxis werden jedoch zumeist Weichhölzer (v.A. Fichte) dafür verwendet, weil

⁸⁵ Vgl. Green 2017, S. 31

es bei Harthölzern zu Schwierigkeiten beim Verkleben kommen kann. Brettlamellen mit hoher Festigkeit werden künstlich auf einen einheitlichen Feuchtegehalt getrocknet (zwischen 8-15%). Die getrockneten Lamellen werden optisch, bzw. maschinell nach ihrer Festigkeit sortiert. Dadurch kann ein annähernd homogener Querschnitt des Brettschichtholzes erzielt werden. Außerdem ist es üblich, für die Außenlamellen Bretter mit höheren Festigkeitswerten zu verwenden, da hier die auftretenden Druck- und Zugkräfte am größten sind. Die Lamellen werden keilverzinkt, begradigt, unter Druck verklebt und im letzten Schritt Unebenheiten ausgeglichen.⁸⁴

Verglichen mit seinem Eigengewicht ist das Brettschichtholz stärker als Stahl. Weite Spannweiten werden durch seine äußerst gute Stärke-Gewicht-Rate begünstigt.⁸⁵ Das Material wird deshalb vor allem als Stütze, Balken oder Unterzug verwendet.⁸⁶ Hinsichtlich seiner Wirtschaftlichkeit kann das Brettschichtholz durchaus mit vergleichbaren Konstruktionsmaterialien mithalten, da das niedrige Eigengewicht zu geringeren Transport- und Errichtungskosten (beispielsweise Einsparungen im Fundament) führt.⁸⁷

⁸⁴ Vgl. Malo, Angst 2008, S. 48-50

⁸⁵ Vgl. ebenda, S. 52

⁸⁶ Vgl. Green 2017, S. 28

⁸⁷ Vgl. Malo, Angst 2008, S. 53

3.2.3.3 BRETTSPERRHOLZ (BSP) / KREUZLAGENHOLZ (KLH)

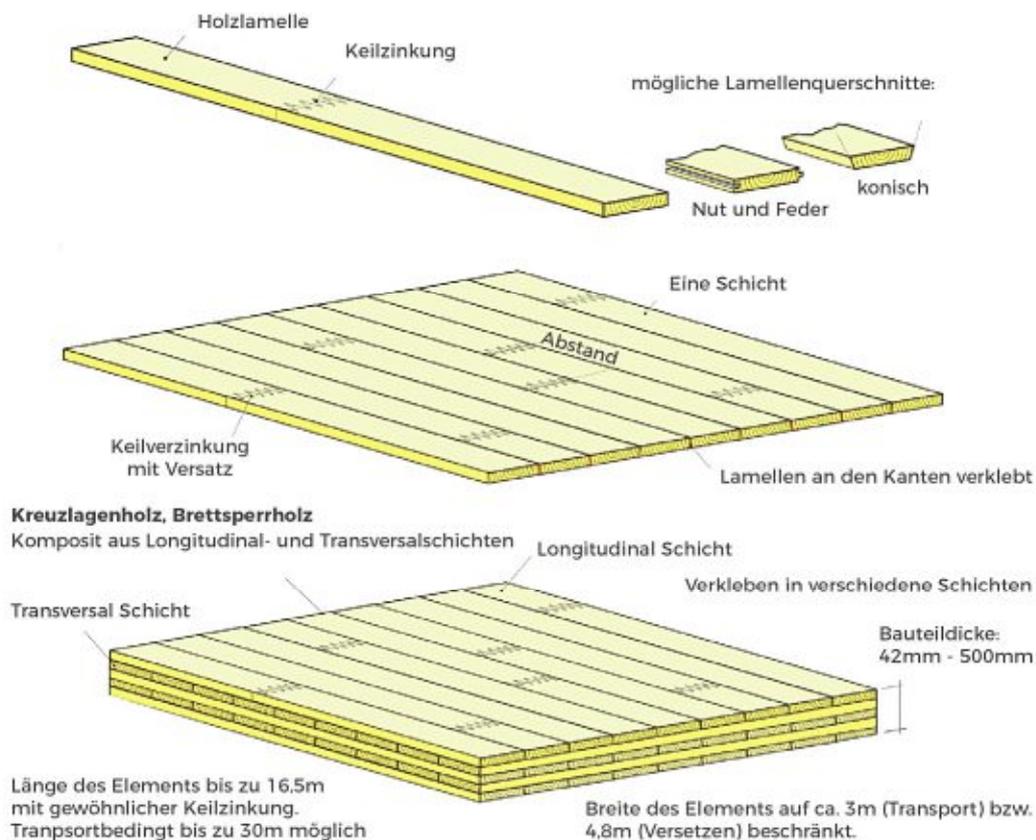


Abb. 22 Herstellungsprozess einer BSP / KLH Platte

Das Brettsperrholz, auch genannt Kreuzlagenholz, besteht aus aufeinandergestapelten Brettern, die schichtweise im rechten Winkel zueinander verklebt werden.⁸⁸ Wie beim Brettschichtholz ist es wichtig, dass auch hier die äußeren Schichten die höchste Festigkeit aufweisen. Ebenfalls werden die Einzellamellen längs mittels Keilzinkung und quer über Nut und Feder, bzw. konisch an den Kanten verklebt, um so eine Bauteilschicht zu schaffen. Innerhalb der Schicht sollten die Keilzinkungen zumindest einen Versatz von einem Drittel der Einzellamellenbreite aufweisen. Zur Sicherheit wird aber empfohlen, eine ganze Lamellenbreite als Abstand heranzuziehen. Der Verbund der Einzelschichten wird mittels vollflächiger Verklebung erreicht. So erzeugte Plattenelemente mit einer Länge von rund 16,5m, einer Breite von rund 3m und einer Bauteildicke von bis zu 0,5m können als Standard betrachtet werden. Durch die Keilzinkung kann eine Länge von bis

⁸⁸ Vgl. Green 2017, S. 30

zu 30m erreicht werden. Gekrümmte Plattenelemente sind ebenfalls durchaus denkbar.⁸⁹ Die Elemente werden in der Regel in einer ungeraden Anzahl an Bauteilschichten (3-7) erzeugt, damit die äußersten Schichten dieselbe Orientierung aufweisen. Optisch können die Außenschichten in Sichtqualität geliefert werden, was eine weitere Sortierung der Lamellen aufgrund ihrer Ästhetik erfordert. Standardmäßig werden die Elemente jedoch unter einem Oberflächenfinish verborgen.⁹⁰

Die Tragfähigkeit der Elemente ist vor allem durch Größe, Form, Anzahl der Öffnungen, Anzahl der Schichten und Qualität des eingesetzten Materials und des Produktionsprozesses beeinflusst. Durch die rechtwinklige Anordnung der Schichten zueinander werden manche Schichten stärker quer zu ihrer Faser beansprucht, was bei der Kalkulation der Kreuzlagen gesondert berücksichtigt werden muss.⁹¹

3.2.3.4 BRETTSTAPELELEMENTE

Beim Herstellen von Brettstapelelementen werden Massivholzzuschnitte auf der Kante nebeneinander angeordnet und mittels Nägeln bzw. Schlüsselschrauben verbunden. Im Unterschied zu anderen Massivholzprodukten sind hierfür keine teuren Maschinen erforderlich, sondern ist eine Anfertigung von geübten Zimmerern in einer üblichen Werkstatt möglich. Bauseitig muss allerdings ein Dichtmaterial angebracht werden, um Fußböden gegen Rauch und Dampf undurchlässig zu machen. Generell sind diese Elemente im Vergleich mit anderen Holzprodukten anfälliger für Schimmel und andere wasserbedingte Schäden.⁹²

⁸⁹ Vgl. Augustin 2008, S. 75-77

⁹⁰ Vgl. Green 2017, S. 30

⁹¹ Vgl. Augustin 2008, S. 78, S. 82

⁹² Vgl. Green 2017, S. 30

3.2.3.5 SPAN- UND FASERWERKSTOFFE

Spanplatten:



Faserplatten:



Abb. 23 Wichtigste Span- und Faserwerkstoffe

Zur Erzeugung von Span- und Faserwerkstoffen werden angefallene Abfälle der Holzindustrie verwendet. Hobel- und Sägespäne werden in der Regel unter Einsatz von Klebstoffen zu Platten verpresst. Im Unterschied zum BSH und KLH bestehen bei diesen Werkstoffen keine klar definierten Schichten. Zumeist werden Span- und Faserwerkstoffe als aussteifende Beplankung für Wände, Decken und Dächer eingesetzt. Einer der am häufigsten verwendeten Werkstoffe ist die OSB-Platte („Oriented Strand Board“). Im Unterschied zu anderen Spanhölzern besteht sie aus relativ langen (35-75mm) rechteckigen Spänen, die in eine Richtung orientiert verarbeitet werden. Werden die Bestandteile der Hölzer so klein, dass die ursprüngliche Holzstruktur nicht mehr zu erkennen ist, spricht man von Faserhölzern. Diese können sowohl mit, als auch ohne Druck und Klebstoff erzeugt werden.⁹³

⁹³ Vgl. Steiger 2013, S.23

3.2.3.6 HYBRIDE BAUSTOFFE

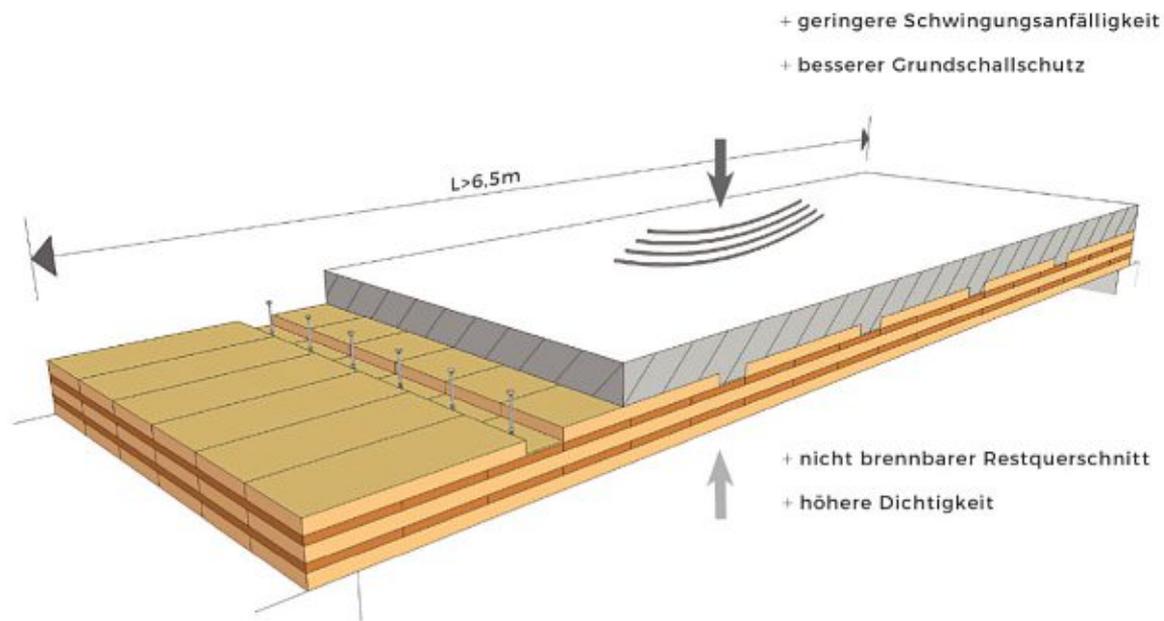


Abb. 24 Holz-Beton-Verbund Deckensystem

Die Holzbetonverbund-Bauweise ist keineswegs eine neue Errungenschaft. Sie findet bereits seit Jahrzehnten Anwendung in der Baubranche. Im Wiener Raum kommt sie vor allem zur Ertüchtigung von bereits bestehenden Holzbalkendecken (Doppelbaumdecken) im Zuge eines Dachgeschossausbaus zum Einsatz. Heutzutage werden jedoch die Vorzüge der Verbundbauweise auch gerne im Neubau genutzt. Es werden bereits bestehende Systeme, wie Rippen- oder Massivholzsysteme, mit einer Schicht Stahlbeton kombiniert. Was sowohl statisch, als auch bauphysikalisch eine effizientere Nutzung beider Baustoffe bedeutet. Da der Beton generell sehr gut auf Druck aber schlecht auf Zug reagiert, wird dieser in der Regel durch Bewehrungsstahl ergänzt. Da das Holz aber im Vergleich zum Beton eine relative hohe Zugfestigkeit besitzt, kann ein Großteil der Zugbeanspruchung durch den Holzbauteil aufgenommen werden. Eine schubfeste Verbindung untereinander ist die Voraussetzung für ein gut funktionierendes Holzbetonverbundsystem.⁹⁴

Die Vorteile aus dem Verbund ermöglichen gegenüber dem konventionellen Holzbauwerkstoff größere Spannweiten und erhöhte Steifigkeit, bei nur

⁹⁴ Vgl. KLH Massivholz GmbH (Hrsg.) 2018, S. 2

geringer Zunahme des Eigengewichts. Weiters besitzen diese Bauteile eine geringe Schwingungsanfälligkeit, was sich besonders bei erhöhten Spannweiten auszeichnet. Durch die Nichtbrennbarkeit des Betons wird der Brandwiderstand des gesamten Deckensystems verbessert und eine längere Dichtheit bei einem Brandschadenereignis gewährleistet. Das vom Beton zusätzlich anfallende Gewicht wirkt sich außerdem positiv auf die akustische Performance der Decke aus, welche bei der konventionellen Holzdecke sehr oft ein Problem darstellt.⁹⁵

3.3 DER HOLZSCHUTZ

Im Unterschied zu mineralischen Baumaterialien wie Mauerwerk und Beton kann das organische Baumaterial Holz durch Pilze und Insekten befallen werden. Die Folgen reichen von einer optischen Beeinträchtigung bis hin zum Verlust der Tragfähigkeit und Zerstörung der Gebäudestruktur. Zum Schutz des Materials stehen prinzipiell drei Arten des Holzschutzes zur Verfügung.⁹⁶

3.3.1 HOLZAUSWAHL

Für Bauprojekte sollte nur gut getrocknetes Holz ausgewählt werden. Aufgrund ihrer natürlichen Eigenschaften gibt es Hölzer, die von sich aus sehr feuchteresistent sind (Greenhart, Teak, Eiche, Bongassi). Sie können ohne zusätzlichen Schutz in feuchtebeanspruchten Zonen, wie an der Fassade, verbaut werden. Sollen Hölzer im Erdbereich verbaut werden, ist ein chemischer Holzschutz jedoch unumgänglich. In den meisten Fällen ist es aber ratsam, den Baustoff in diesen Bereichen durch mineralische Baustoffe zu substituieren.⁹⁷

3.3.2 KONSTRUKTIVER HOLZSCHUTZ

Durch eine gewissenhafte Planung lassen sich viele Details so konstruieren, dass eine Dauerbefeuchtung von Bauteilen vollständig vermieden wird und

⁹⁵ Vgl. KLH Massivholz GmbH (Hrsg.) 2018, S. 3

⁹⁶ Vgl. Steiger 2013, S. 25

⁹⁷ Vgl. ebenda, S.25

so auf wartungsintensive chemische, bzw. meist teurere Hölzer verzichtet werden kann.⁹⁸

3.3.3 CHEMISCHER HOLZSCHUTZ

Der chemische Holzschutz stellt nur dann eine sinnvolle Lösung dar, wenn die beiden anderen Holzschutzarten zur Gänze ausgeschöpft sind. Um das Holz chemisch zu schützen bedarf es Anstriche und Imprägnierungen, die das Holz vor Feuchte, bzw. tierischen und mykotischen Schädlingen schützt.⁹⁹

3.4 KONSTRUKTION

Für jedes Gebäude gilt, dass die Standsicherheit unter Einfluss aller relevanter auftretender Lasten garantiert werden muss. Dazu zählen die Vertikallasten bestehend aus Nutz- und Eigenlast sowie die Horizontallasten, die hauptsächlich auf Winde und Erdbeben zurückzuführen sind.¹⁰⁰ Dazu gibt es noch Sonderlasten wie Anpralllasten, auf die aber im Zuge dieser Arbeit nicht weiter eingegangen wird.

3.4.1 VERTIKALLASTEN

Im Idealfall werden die Vertikallasten durch ununterbrochene bzw. aufgesetzte Stäbe oder Platten bis in das Fundament geleitet. Das Aufweichen des Lastpfad-Systems bzw. der Versatz der tragenden Elemente, kann zu einem enormen technischen und wirtschaftlichen Mehraufwand führen und erfordert in den meisten Fällen Speziallösungen. Bei der Konstruktion von Holzhochhäusern kommt es in der Regel zur Anwendung von einer von zwei Systemen.¹⁰¹

⁹⁸ Vgl. Steiger 2013, S. 26

⁹⁹ Vgl. ebenda, S. 26

¹⁰⁰ Vgl. ebenda, S. 29

¹⁰¹ Vgl. Green 2017, S. 33

3.4.1.1 PLATTFORMSYSTEM

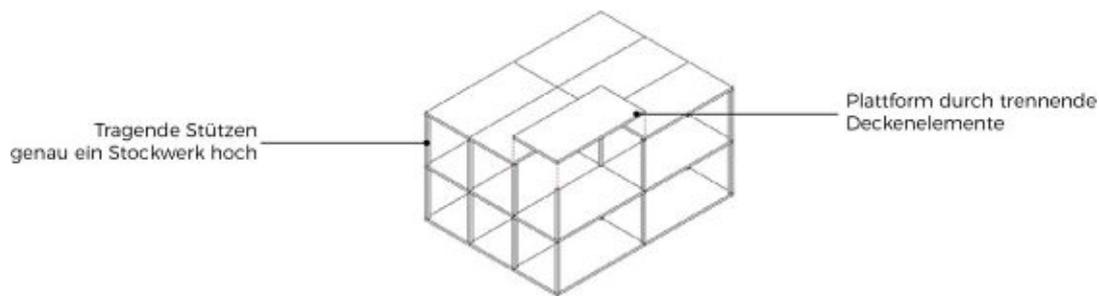


Abb. 25 Plattformsystem

Bei diesem System sind die Tragwerkselemente (Stützen, Wände) exakt ein Stockwerk hoch. Jeder Fußboden bildet eine abschließende Plattform. In den Bereichen der Plattform, welche durch Vertikallasten beansprucht werden könnten, ist es sinnvoll ein Konstruktionsdetail vorzusehen, das ein erhöhtes Maß an Belastung oder Schrumpfen quer zur Faser (Faserpressung) verhindert. Dies kann zum Beispiel so gelöst werden, dass an der betroffenen Stelle (z.B. Stützenbereiche) Löcher gebohrt, und entweder Stahlrohre eingesetzt werden oder das Holz an diesen Stellen komplett durch Beton zu substituieren.¹⁰²

3.4.1.2 DURCHGEHEND GEBAUTES SYSTEM

Hier sind die Tragwerkselemente nicht durch Plattformen begrenzt. Es laufen die tragenden Platten bzw. Stäbe von oben nach unten durch.¹⁰³

3.4.2 HORIZONTALLASTEN

Die in Gebäuden anfallenden Horizontallasten können in der Vertikalebene einerseits durch biegesteife Rahmen oder durch Platten aufgenommen werden. Wandplatten sind sowohl am Gebäuderand als Außenwand, als auch als Zwischenwände im Gebäude, sowie angebunden an den meist vorhandenen Stahlbetonkern, welcher Stiegenhäuser, Aufzüge und Schächte beherbergt, angebracht. Es gilt dabei zu beachten, dass die Quersysteme beidseitig und idealerweise gleichmäßig im Grundriss angeordnet sind. Damit das System funktioniert, müssen die aussteifenden Elemente im Zusammenspiel wirken. Dieser Verbund wird durch steife Horizontalplatten

¹⁰² Vgl. Green 2017, S. 33

¹⁰³ Vgl. ebenda, S. 33

gewährleistet, welcher durch Verankerungen die Querlasten über den Gebäudekern, bzw. das gebäudehohe Rahmensystem in das Fundament ableitet.¹⁰⁴ Durch die generell relativ geringe träge Masse von Holzhochhäusern werden diese durch Winde beschleunigt und können als Ergebnis Auftriebskräfte entstehen, die bei der Konstruktionsplanung berücksichtigt werden müssen.¹⁰⁵

3.4.3 DUKTILITÄT

Die Duktilität beschreibt die Fähigkeit eines Stoffes, sich unter Einfluss anfallender Lasten zu verformen und die bestehende Energie aufzunehmen und weiterzuleiten. Im Holzhochhausbau, wo die tragenden Elemente als grundsätzlich steif angenommen werden können, muss die Duktilitätsanforderungen der Gebäude durch Verbindungselemente erfüllt werden. Diese werden so ausgestaltet, dass sie durch ihre Elastizität milde Windlasten und leichte seismische Lasten ohne weiteres absorbieren können. Bei starken Lasten können sich die Verbindungselemente dauerhaft plastisch verformen, die Kraft aber dennoch absorbieren. Dadurch entstehen nur geringe Gebäudeschäden und die Standsicherheit wird somit auch bei größeren Lasten gewährleistet.¹⁰⁶

3.5 TRAGWERK

Das Tragwerk ist nicht nur für die Standsicherheit eines Gebäudes verantwortlich, sondern muss noch weitere wichtige Funktionen gewährleisten. Essenziell ist die Funktionalität des Gebäudes. Diese kann weitestgehend in den zwei Kategorien Wohnen, und Gewerbe, zusammengefasst werden. Die verschiedenen Typen erfordern ein Tragsystem, welches eine unterschiedliche Raumorganisation, Flexibilität, Spannweite und gesetzliche Konformität (z.B. Brandschutz) ermöglicht. Wohngebäude sind tendenziell stärker eingeteilt, was für die Verwendung von tragenden Wänden im Inneren spricht. Konträr dazu ist es in gewerblich genutzten Gebäuden wichtig, möglichst flexible, offene Grundrisse, die leicht

¹⁰⁴ Vgl. Green 2017 S. 33

¹⁰⁵ Vgl. ebenda S. 35

¹⁰⁶ Vgl. ebenda, S.34

an die Wünsche etwaiger Mieter anpassbar sind, zu planen. Hierzu eignen sich Skelettbausysteme aus Stützen und Balken ideal, weil sich die Innenwände ohne höheren Aufwand versetzen lassen.¹⁰⁷

3.5.1 HOLZ-PLATTENBAUSYSTEME

Bei Plattensystemen werden sowohl die vertikalen als auch die horizontalen Lasten durch Massivholzplatten bzw. gezimmerte Tafелеlemente abgeleitet. Idealerweise befinden sich die Platten – horizontal betrachtet – in einem geordneten Raster und vertikal übereinander. Bedingt durch die geschossweise gerasterte Plattenstruktur sind Grundrisse dieses Bautyps nur erschwert adaptierbar, was eine gewerbliche Nutzung de facto ausschließt. Einen der größten Vorteile dieses System bilden kurze Montagezeiten, sowie die Ausführung in Trockenbauweise und dadurch eine geringere Wetterabhängigkeit. Ebendiese Vorteile führen vermehrt dazu, die Produktion von Bauteilen wie Wand- und Deckenelementen bis hin zu fertigen Raumzellen in Werkstätten zu verlagern und so einen Großteil des Bauprozesses weiter wetterunabhängig zu machen. Werkseitig gefertigte Elemente können bereits mit allen notwendigen Schichten, Durchbrüchen und Oberflächen produziert werden und müssen bauseitig nur noch versetzt werden.¹⁰⁸ Der Holzrahmenbau als Ursprung des Tafelbaus stellt nach wie vor eine handwerkliche Konstruktionsweise dar. Der Ruf nach stärkerer Industrialisierung des Holzbaus führt weitestgehend dazu, tragende Elemente aus Brettsperrholz zu produzieren. Jahrelang galt es, möglichst sparsam mit dem Rohstoff Holz umzugehen, jedoch durch die zunehmende Industrialisierung des Holzbaus und einer effizienten Ausnutzung des Rohstoffs kommt es immer mehr zu einem Umdenken. Denn gerade in den Zeiten des beschleunigten Klimawandels ist die Verwendung von Materialien, die als CO₂-Speicher gelten, umso sinnvoller. Stetig ansteigende Lohnkosten stehen einem erschwerten Transport und größeren Produktionswerken gegenüber. Schlussendlich entscheiden aber wohl ökonomische Faktoren, der Entwurf und die Gebäudefunktion über die

¹⁰⁷ Vgl. Green 2017, S. 36

¹⁰⁸ Vgl. ebenda, S. 62

gewählte Konstruktion und ob und wie viel bereits werkseitig vorfabriziert werden kann.¹⁰⁹

3.5.2 HOLZ-STABSYSTEME (SKELETTBAU)

Die Forderung nach mehr Flexibilität in der Raumanordnung und großflächigen Verglasungen waren der Grund für die Entwicklung des Skelettbbaus. Bei diesen Stabtragwerken bilden ein System aus Trägern und Stützen das primäre Tragwerk. Unabhängig vom Tragwerk können raumtrennende Wände eingebaut, adaptiert und ausgebaut werden, um so die nötige Freiheit in der Raumorganisation zu gewährleisten. Die Träger werden in einem definierten Raster angeordnet und können je nach System (siehe Kapitel „Plattformsystem“, „durchgehend gebautes System“) ein oder mehrere Geschosse hoch sein.¹¹⁰

Es werden jedoch zusätzlich aussteifende Wände, bzw. steife Rahmen und Queraussteifungen benötigt, um die anfallenden Horizontallasten aufnehmen zu können.¹¹¹

3.5.3 HYBRIDBAUSYSTEME

Die Effizienz im Baumaterialeinsatz und der Wirtschaftlichkeit sind die führenden Triebkräfte in der Tragwerksplanung. Durch den Holzbau allein lassen sich oft nicht alle auftretenden Probleme optimal lösen. Von Hybridsystemen ist dann die Rede, wenn das Holz mit Stahl und Beton gezielt kombiniert bzw. dadurch substituiert wird. Die Vorzüge der verschiedenen Baustoffe lassen sich so dort einsetzen, wo sie benötigt werden. Hohen Lastanforderungen kann Stahl mit seiner hohen Festigkeit entsprechen. Während der Beton vor allem wegen seiner Druck- und Stoßfestigkeit, thermischen Masse, sowie seiner Eigenschaften in Kontakt mit Wasser und Feuer zum Einsatz kommt.¹¹²

So kommt es vor allem im Keller- und Erdgeschoss zur Anwendung von Stahlbeton, da Holz aufgrund der bereits in Kapitel 3.3 erwähnten

¹⁰⁹ Vgl. Steiger 2013, S. 47-49

¹¹⁰ Vgl. ebenda, S. 44-55

¹¹¹ Vgl. Green 2017, S. 100

¹¹² Vgl. ebenda, S.36

Eigenschaften im feuchten Erdbereich ungeeignet ist. Aufgrund von Brandschutzbestimmungen und wegen seiner aussteifenden Wirkung wird der Gebäudekern, bestehend aus Stiegenhaus, Aufzügen und Infrastruktur, meist ebenfalls in Stahlbeton ausgeführt.¹¹³ Es gibt bereits einige Projekte, bei denen das gesamte Gebäude, abgesehen von erdberührenden Bauteilen, inklusive Kern aus Holz gefertigt wurde, hinsichtlich der Aspekte der Materialeffizienz und Wirtschaftlichkeit ist eine solche Vorgehensweise jedoch kritisch zu hinterfragen.

3.6 DER SCHALL IN GEBÄUDEN

Der Schall ist eine mechanische Schwingung und Welle, die sich in einem elastischen Medium ausbreitet.¹¹⁴ Der dadurch entstehende Ton wird durch folgende Eigenschaften definiert:

- Frequenz (Hertz / Hz)
- Wellenlänge (Meter / m)
- Amplitude (Dezibel / db)

Der menschlich hörbare Schall liegt ungefähr bei einem Frequenzbereich zwischen 20 – 20.000 Hz im Kindesalter und verringert sich mit zunehmendem Alter auf knapp 70 – 14.000 Hz. In Bauwerken kann sich der Schall einerseits über die Luft in Form von Sprache, Musik oder sonstigen Geräuschen der Umgebung ausbreiten (Luftschall), andererseits ist es auch möglich Schall über Körper zu transportieren (Körperschall). Der Körperschall wird vor allem durch Schritte, Vibrationen mechanischer Geräte, oder durch Fallenlassen von Objekten erzeugt. Der erzeugte Schall in Bauwerken emittiert vor allem über die Decken, Fußböden und Wohnungstrennwände ungewollt in andere Räume.¹¹⁵

Vereinfacht lässt sich die Schallübertragung in der Bauakustik über einige wenige Mechanismen zusammenfassen. Bei flächigen, einschaligen Bauteilen sind vor allem die Masse und Biegesteifigkeit der Körper von

¹¹³ Vgl. Green 2017, S. 38

¹¹⁴ Vgl. <http://www.spektrum.de/>

¹¹⁵ Vgl. Green 2017, S. 44-45

Bedeutung. Für Bauteile aus mehreren Schichten werden die Resonanzen zwischen den Bauteilschichten bedeutsam. Der Effekt der Schalldämmung hängt insbesondere von einer Dämpfungswirkung im Bereich der gegebenen Resonanzfrequenz ab. Durch ein geeignetes Dämmmaterial zwischen den Schichten lässt sich das Schalldämmmaß steigern.¹¹⁶

3.6.1 MASSNAHMEN ZUR SCHALLISOLIERUNG

Um in einem Bauwerk ideale raumakustische Eigenschaften zu schaffen, muss der anfallende Luft- und Trittschall bereits während der Planung von Decken und Wänden berücksichtigt werden. Dabei spielt unter anderem die Masse der Bauteile eine Rolle. Allgemein lässt sich sagen, dass sich die Ausbreitung von Luftschall in der Regel durch Installation einer Dämmschicht eindämmen lässt. Im Gegensatz dazu wird die Ausbreitung von anfallendem Körperschall verhindert, indem die Bauteile physisch unterbrochen werden und Direktpfade zur Schallübertragung unterbrochen werden.¹¹⁷

3.6.1.1 SCHALLISOLIERUNG VON WÄNDEN

Unabhängig von der Art der Wandkonstruktion, lassen diese sich im Holzbau auf einige wenige Grundelemente in Zusammenhang bringen. Man unterscheidet grundlegend zwischen der Massivholzbauweise und der Holztafelbauweise.

Tafelbauweise

In der Tafelbauweise wird ein Ständerwerk (Rähm, Holzständer) zumindest einseitig mit einer Werkstoffplatte (z.B. OSB-Platte) beplankt. Die Hohlräume zwischen den Ständern werden in der Regel mit einer Dämmung ausgefüllt. Für die Schalldämmung wirken sich die beschriebenen Bestandteile wie folgt aus:

Eine optimale Ausnutzung der **Beplankung** ist dann gewährleistet, wenn die flächenbezogene Masse, sowie die Biegeweichheit des Materials erhöht wird.¹¹⁸ Die beplankte Fläche gilt als schallabsorbierend bzw.

¹¹⁶ Vgl. Blödt, Rabold, Halstenberg 2019, S. 16

¹¹⁷ Vgl. Green 2017, S. 46

¹¹⁸ Vgl. Blödt, Rabold, Halstenberg 2019, S. 2

schallemittierend, weshalb sich eine Entkoppelung vom Ständerwerk zusätzlich positiv auswirkt.

In der Regel werden für die **Hohlraumdämmung** fast ausschließlich Faserdämmstoffe eingesetzt. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die eingesetzten Dämmelemente bündig zum Ständerwerk eingebaut werden. Im Falle einer eingeblasenen Dämmung ist es wichtig, dass sich keine Hohlräume bilden.

Die **Ständertiefe** wirkt sich kaum auf das Schallmaß der Wand aus. Allerdings kann durch eine Vergrößerung des Rasters eine wesentliche Verbesserung erzielt werden.¹¹⁹

Massivholzbauweise

Im Vergleich zur Tafelbauweise besteht das Grundelement aus einer massiven Grundwand. In der Regel wird diese aus Brettsperholz, Brettschichtholz oder Brettstapelelementen gefertigt. Folgende Parameter fließen in die Schalldämmwirkung des Bauteils ein:

Das maximal zu erreichende Schalldämmmaß für diese Elemente ist durch sein **Flächengewicht** und seine **Biegesteifigkeit** definiert. Beplankungen die direkt an die Massivholzelemente montiert werden, verbessern das Maß der Schalldämmung durch die Steigerung des Flächengewichts.

Durch den Einsatz von **Bekleidung** in Form von Wärmedämmung oder Beplankungen, auch in Kombination mit Vorsatzschalen, wird das Schalldämmmaß positiv beeinflusst.

In der Regel werden Massivholzwände als vorgefertigte Elemente bauseitig versetzt. Die Elemente werden untereinander gekoppelt, hierzu gibt es eine Vielzahl an Verbindungssystemen. Schmale Bauteile können durch die Verbindungsfugen die Schalldämmung des gesamten Systems nachteilig beeinflussen. Durch zumindest einseitige Beplankung der Grundkonstruktion kann jedoch der Fugenschall deutlich reduziert werden.¹²⁰

¹¹⁹ Vgl. Blödt, Rabold, Halstenberg 2019, S. 26

¹²⁰ Vgl. ebenda, S. 29

Der Aufbau von Außenwandkonstruktionen ist in der Regel relativ simpel und basiert auf den oben bereits beschriebenen Grundsystemen. Auf das Grundsystem (Holztafelwand, Massivholzwand) wird an der Außenseite eine Außenwärmedämmung angebracht. Innenseitig kann im Bedarfsfall noch eine Installationsebene mittels Vorsatzschale verbaut werden.¹²¹

Generell wird die Ausgestaltung von Trennwänden eher durch Statik und Brandschutz bestimmt. In Holzhochhäusern finden sich dennoch des Öfteren verschiedene Varianten von Wohnungstrennwänden. Die leichten Rahmenwände werden zur Massenerhöhung mit zwei Schichten Gipskarton verkleidet und die Hohlräume mit Isoliermaterial befüllt. In einer zweiten Variante werden auf eine Massivholzplatte als Grundelement beidseitig Beplankungen aus Gipskarton angebracht. Die Verbindung der Platten kann entweder mittels Latten oder Federschienen hergestellt werden. Auch bei dieser Variante werden die Zwischenräume mit Isoliermaterial befüllt und als Installationsebene genutzt. Eine dritte Variante besteht darin, zwei Massivholzplatten so zu versetzen, dass dazwischen ein Hohlraum entsteht, der wiederum ausgedämmt wird. Bei dieser Variante besteht die Möglichkeit, die Oberflächen auf Sicht zu belassen.¹²²

3.6.1.2 SCHALLISOLIERUNG VON DECKEN

Die Decken, ganz ähnlich den Wandkonstruktionen, können ebenfalls in zwei grundlegende Systeme ausgeführt werden. Entweder können diese als Massivholzdecke oder als Holzbalkendecke geplant werden. Aufgrund ihrer flächigen Tragstruktur lassen Massivholzdecken eine geringere Bauhöhe zu. Die Holzbetonverbunddecke (siehe Kapitel „Hybride Baustoffe“) kann dabei als Variation der beiden Grundsysteme betrachtet werden. Geschossdecken werden üblicherweise mit Trockenestrich oder schwimmenden Estrich ausgeführt. Dieser wird auf einer Trittschalldämmung verlegt. Bei einer Rohdeckenbeschwerung wird die Rohdecke zusätzlich beschwert und bedämpft. Im Holzbetonverbund kann diese Funktion bereits durch die aufgebrachte Betonschicht übernommen werden.¹²³ Holzbaudecken sind

¹²¹ Vgl. Blödt, Rabold, Halstenberg 2019, S. 31

¹²² Vgl. Green 2017, S.46-47

¹²³ Vgl. Blödt, Rabold, Halstenberg 2019, S. 35

Leichtbaudecken und es kann in manchen Fällen notwendig sein, das Trittschalldämmmaß durch Beschwerung (z.B. aus Sand, Platten) zu erhöhen. Weiters können sogenannte Schwingungstilger, bestehend aus Masse-Feder, die Dämmleistung steigern. Durch Schwingungen im Bauteil wird der Schwingungstilger zur Resonanz gebracht, was die Bauteilschwingung stark abfedert.

Ähnlich den Trennwänden erfolgt auch im Bereich der Decken die Dimensionierung der Tragstruktur aufgrund der statischen Erfordernisse. Dies kann damit begründet werden, dass ab Erreichen einer Mindestdicke der Schallübertragungseffekt der Decke sich nur mehr sehr gering steigert. Jedoch kann bei Balkendecken durch eine Dämmung zwischen den Balken in Kombination mit einer elastisch abgehängten Decke das Schalldämmmaß signifikant gesteigert werden.¹²⁴

Weiters kann durch Unterdecken und weichfedernden Oberflächen (z.B. Teppichbeläge) die Isolierwirkung verbessert werden, wobei die Wirkung von Oberflächen im Holzbau generell überschätzt wird.¹²⁵

3.7 THERMISCHE LEISTUNG VON HOLZHOCHHÄUSERN

3.7.1 GEBÄUDEHÜLLE

Die Gebäudehülle stellt die Trennung zwischen Innen- und Außenraum dar. Eine der wesentlichen Aufgaben der Hülle ist das Aufrechterhalten eines komfortablen, thermischen Innenraumes. Das Leistungsvermögen der Gebäudehülle definiert sich durch nachfolgende Hauptfaktoren: Einerseits durch die Auswahl von Materialien, den Bauteilaufbau und die Kompatibilität der unterschiedlichen Materialkombinationen. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass die Bauteile qualitativ hochwertig verarbeitet werden. Im Entwurf der Gebäudehülle eines Holzhochhauses ist es essenziell auf die Besonderheiten des Baustoffs Holz zu achten. Probleme entstehen vor allem dann, wenn das Holz Wasser ausgesetzt wird, oder durch Schwindprozesse,

¹²⁴ Vgl. Blödt, Rabold, Halstenberg 2019, S. 39

¹²⁵ Vgl. ebenda, S. 40-41

die durch Tragwerkslasten und Schwankungen im Feuchtegehalt entstehen.¹²⁶

3.7.1.1 WÄRMEDÄMMUNG

Die Wärmedämmung stellt die wichtigste Bauteilkomponente in Bezug auf Energieverlust und thermischen Komfort dar. Die Dämmleistung eines Bauteils wird durch seinen Widerstand gegenüber dem Wärmestrom von einer Bauteilseite zur anderen definiert. Der Wärmedurchlasskoeffizient, oder kurz U-Wert, ist der Kehrwert des Widerstandes und drückt die Wärmeleitfähigkeit eines Bauteils aus. Das heißt je niedriger der U-Wert eines Stoffes, desto besser ist seine Dämmleistung. Die Auswahl einer geeigneten Wärmedämmung wirkt sich enorm auf die Energiebilanz von Gebäuden aus, da sich durch diese die benötigte Betriebsenergie stark reduzieren lässt. Betrachtet auf den Lebenszyklus hat eine ordentliche Dämmung deshalb starken Einfluss auf den ökologischen Fußabdruck eines Gebäudes. Ein weiterer Faktor ist die Wahl des Dämmstoffes. Die in der Regel umweltschonendsten sind einerseits Holz- und Zellulosefasern, die entweder als Platten verbaut, oder lose eingeblasen werden, andererseits Glasfaser und Mineralwolle, die insbesondere aufgrund ihrer Brandbeständigkeit verbaut werden. Wie bereits erwähnt übernimmt die Wärmedämmung zusätzliche Funktionen. Diese reichen vom Brand- und Schallschutz, bis hin zur Feuchteregulierung.¹²⁷

3.7.1.2 DAMPFBREMSEN

Dampfbremsen sind vor allem in kühleren Klimazonen relevant. Sie verhindern, dass der im Innenraum entstehende Wasserdampf (z.B. durch Heizen) im Bauteilinneren kondensiert und den Bauteil beschädigt. In den meisten Bauteilen werden diese auf der warmen Innenseite angebracht, da der Bauteil von Innen nach Außen immer diffusionsoffener werden muss. In der Regel kann diese Funktion von Werkstoff-, Gipskarton- oder

¹²⁶ Vgl. Green 2017, S. 48

¹²⁷ Vgl. ebenda, S. 48-49

Massivholzplatten übernommen werden. Durch diesen Aufbau kann die Innenraumfeuchtigkeit durch den Bauteil nach außen geführt werden.¹²⁸

3.7.1.3 LUFT- UND WASSERSPERRE

Luftsperren werden in Gebäuden dort eingesetzt, wo ein freies Strömen von Luft im Bauteil auftritt (z.B. hinterlüftete Fassaden). Sie dienen einerseits der Kontrolle von Wärmegewinn und Verlust, andererseits zur Kontrolle der Feuchtebewegung. Normalerweise wird diese Bauteilschicht vergleichbar mit Luftsperren in Form von Folien, Membranen, aufgesprühte Materialien oder durch Beplankungen (Gipskartonplatten oder Sperrholz) verbaut. Wassersperren dienen dem Schutz der Wandstruktur vor eindringendem Wasser.¹²⁹

3.7.1.4 WÄRMEBRÜCKEN

Wärmebrücken treten in jenen Bestandteilen von Gebäudehüllen auf, wo sich der ansonsten konstante Wärmedurchlasswiderstand beachtlich ändert. Man unterscheidet geometrische Wärmebrücken (Abweichung eines Bauteils aus seinem ebenen Formverlauf, beispielweise bei Ecken), konstruktive Wärmebrücken (Bauteile mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten in Richtung des Wärmestroms) oder Mischformen.¹³⁰ Durch vergleichsweise hohe Wärmedurchlasswiderstände wirken sich Holzelemente, die die Gebäudehülle durchdringen, typischerweise nur sehr gering auf die thermische Dämmleistung derselben aus. Im Vergleich dazu sollten Beton- und Stahlelemente aufgrund ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit, keinesfalls durch die Hülle dringen, da in diesem Fall hohe Wärmeverluste drohen und Wasser im Bauteil kondensiert. Wird die Gebäudehülle im Bereich von Fenstern oder Türen komplett durchdrungen, gilt es diese thermisch mit Hilfe von Isoliermaterial zu entkoppeln.¹³¹

¹²⁸ Vgl. Green 2017, S.49

¹²⁹ Vgl. ebenda, S. 50

¹³⁰ Vgl. Schild 2018, S. 3-6

¹³¹ Vgl. Green 2017, S. 51

3.8 BRANDEIGENSCHAFTEN VON HOLZ

Holz gilt als brennbares, organisches Material mit den Hauptbestandteilen Zellulose, Hemizellulose und Lignin. Bei ausreichender Erwärmung entzündet sich das Holz, ohne dass eine externe Zündquelle benötigt wird. Dieser chemische Prozess führt bereits ab einer Temperatur von 60°C dazu, dass sich der Bauteil braun verfärbt und sein freies Wasser verdampft. Ab Erreichen einer Temperatur von 100°C, wird die Zellulose abgebaut, das Wasser verdampft und es entsteht brennbares Holzgas. Durch diesen Vorgang verkohlt die äußerste Schicht des Holzes. Die dadurch entstehende Holzkohleschicht weist eine Wärmeleitfähigkeit auf, die mit der von Dämmstoffen vergleichbar ist. Dies hat zur Folge, dass während des Abbrennens die entstehende Kohleschicht das darunterliegende Holz schützt, wodurch das weitere Brandverhalten positiv beeinflusst wird. Das Maß, in dem der Abbrand fortschreitet, wird als Abbrandgeschwindigkeit definiert. Die Abbrandgeschwindigkeit hängt einerseits von der Holzart ab, andererseits hat auch die Brandrichtung Einfluss auf die Abbrandgeschwindigkeit.

Holzart	Abbrandgeschwindigkeit [mm/min]
Nadelvollholz	0,80
Nadelbrettschichtholz	0,70
Laubholz $\rho > 600 \text{ kg/m}^3$	0,56

Tab. 1 Beispielhafte Abbrandgeschwindigkeit nach Holzarten

Folglich weist Holz als Baumaterial, trotz seiner Brennbarkeit, durch seine bautechnischen Brandschutzeigenschaften, ein äußerst gutes Brandverhalten auf.¹³²

Im Kapitel 4.4 wird das Brandverhalten noch weiter im Hinblick auf die rechtlichen Aspekte des Brandschutzes beleuchtet.

¹³² Vgl. Werner 2004, S. 70-75

4 HOLZHOCHHAUS: RECHTLICH

In diesem Kapitel wird das Holzhochhaus aus rechtlicher Sicht beleuchtet. Im Laufe des Kapitels wird auf die wichtigen österreichischen Gesetze und Richtlinien in diesem Zusammenhang eingegangen. Zudem wird dargelegt, wie man in Österreich und im speziellen in Wien zu einer Hochhauswidmung gelangt. Zum Schluss wird die gesetzliche Lage in anderen Ländern beleuchtet.

4.1 DAS ÖSTERREICHISCHE BAURECHT

Unter dem Baurecht wird die Summe aller öffentlich-rechtlicher Vorschriften und Regelungen verstanden, die bestimmen wo und wie gebaut werden darf. Im Bundesverfassungsgesetz BVG sieht die Gesetzgebung vor, dass das Baurecht dem selbständigen Wirkungsbereich der Länder zuzuordnen ist. Für das Land Wien gilt die Bauordnung für Wien samt zugehöriger Nebengesetze, die durch das Land erlassen wurden. Durch die Wiener Bautechnikverordnung WBTV, wodurch die bundesweite Harmonisierung bautechnischer Reglementierungen in Wien erfolgte, wurden die vom Österreichischen Institut für Bautechnik OIB erarbeiteten Richtlinien für rechtlich verbindlich erklärt. Bei der Realisierung von Bauprojekten gilt es zu berücksichtigen, dass es gemäß des Kumulationsprinzips dazu kommen kann, dass eventuell andere Bundes- oder Landesgesetze ihre Wirkung entfalten bzw. ausschließlich zur Anwendung gelangen.

In der Raumordnung wird die planmäßige, vorausschauende Gestaltung der zukünftigen Verbauung eines definierten Gebietes verstanden. Auch diese ist Landessache, sofern sie nicht in das Eisenbahn-, Straßen-, Berg- und Forstwesen, oder die Luftfahrt und Wasserrechte eingreift. Im Gegensatz zu anderen Bundesländern, welche über ein separates Raumordnungsgesetz verfügen, ist die Raumordnung in Wien durch die Bauordnung abgedeckt.¹³³

Durch den Beitritt zur EU am 1.1.1995, wurden die Vorschriften der EU für Österreich verbindlich. Das bedeutet, dass das Parlament keine Regelungen

¹³³ Vgl. Fuchs 2013, S. 3

beschließen darf, die in Widerspruch zu EU-Gesetzen stehen. Die EU erlässt Verordnungen, Richtlinien, Entscheidungen und spricht Empfehlungen aus. Verordnungen besitzen allgemeine Geltung und sind unmittelbar und vollständig verbindlich. Richtlinien sind insofern verbindlich, als dass sie ein Ziel definieren, jedoch wird die Umsetzung den einzelnen Mitgliedstaaten überlassen. Empfehlungen und Stellungnahmen kommen keine Rechtsverbindlichkeit zu.¹³⁴

Ein Beispiel für die Richtlinien in Bezug auf das Baurecht stellt die Bauproduktrichtlinie dar. Diese hat die länderübergreifende Zusammenarbeit im Bauwesen zum Ziel. Essenziell ist hierbei die Übernahmepflicht von europäischen technischen Spezifikationen, welche sich aus harmonisierten Normen, europäischen technischen Zulassungen oder anerkannten nationalen Normen zusammensetzen.¹³⁵

4.2 FLÄCHENWIDMUNG FÜR HOLZHOCHHÄUSER

Wie bereits im vorhergehenden Kapitel erwähnt, deckt die Bauordnung für Wien auch die bauliche Ausnutzbarkeit von Bauplätzen ab. In §75 der Wiener Bauordnung wird die Ausnutzbarkeit mittels Bauklassen definiert, welche die maximal zulässige Gebäudehöhe für Wohngebiete und gemischte Baugebiete vorgibt. Man unterscheidet die Bauklassen I bis VI:¹³⁶

- **Bauklasse I:** Mindestbauhöhe: 2.5m / Maximale Bauhöhe: 9m
- **Bauklasse II:** Mindestbauhöhe: 2,5m / Maximale Bauhöhe: 12m
- **Bauklasse III:** Mindestbauhöhe: 9m / Maximale Bauhöhe: 16m
- **Bauklasse IV:** Mindestbauhöhe: 12m / Maximale Bauhöhe: 21m
- **Bauklasse V:** Mindestbauhöhe: 16m / Maximale Bauhöhe: 26m
- **Bauklasse VI:** Mindestbauhöhe 26 m (relevant für Hochhäuser)

¹³⁴ Vgl. Geuder 2014, S.19-20

¹³⁵ Vgl. ebenda

¹³⁶¹³⁶ Vgl. Bauordnung für Wien §7 (1.2)

In der Wiener Bauordnung werden Gebäude, die zumindest 35m über den tiefsten anschließenden Geländepunkt bzw. die tiefste anschließende Verkehrsfläche ragen, als Hochhäuser definiert. Sofern keine vom Bebauungsplan abweichende Bestimmung besteht, sind diese nur in gemischten Baugebieten, Wohngebieten, Industriegebieten und Sondergebieten zulässig.¹³⁷ Die Wiener Bauordnung unterscheidet in diesem Punkt nicht zwischen Holzhochhäusern und Hochhäusern in mineralischer Bauweise. Diese sind vor allem in den OIB-Richtlinien zu finden. Diese werden im Kapitel 4.4 noch detailliert behandelt.

4.3 LEITFADEN FÜR EINE HOCHHAUSWIDMUNG

Im „Fachkonzept: Hochhäuser“ definiert die Stadt Wien Parameter, die zu einer Genehmigung von Hochhausprojekten und deren Widmung führen. Das Konzept basiert auf den im Jahr 2002 erschienen „Leitlinien für Hochhäuser“. Jedoch verlagert sich der Fokus auf die ganzheitliche städtische Betrachtung und setzt auf mehr Flexibilität und strukturierte Prozesse unter Einbezug aller beteiligter Parteien. Das Fachkonzept stellt keine gesetzliche Festlegung, sondern lediglich einen Leitfaden dar, da jedes Hochhausprojekt durch seine hohe städtebauliche Signifikanz gesondert beurteilt werden muss. Jedes Hochhausprojekt muss sich dabei einer Rechtfertigung bezüglich qualitativer und quantitativer Merkmale unterziehen. Es muss sowohl die städtebauliche Bedeutung bedacht als auch situative Mehrwerte durch das Projekt geschaffen werden müssen. Diese Forderungen zur Erzielung einer rechtmäßigen Widmung kann durch städtebauliche Verträge erfolgen.¹³⁸

4.3.1 ERZIELEN DER WIDMUNG

Durch die starke städtebauliche Präsenz und ihr enormes Gewicht in der Stadtentwicklung, müssen Hochhäuser besonders hohen Ansprüchen, sowohl programmatischer als auch kontextueller Natur, gerecht werden. Programmatisch sollten deshalb, im Sinne einer lebendigen Stadt,

¹³⁷ Vgl. Bauordnung für Wien §7 (1.2)

¹³⁸ Vgl. Magistratsabteilung 21 (Hrsg.) 2014, S.6-7

multifunktionale Konzepte erarbeitet und Kompensationen bereitgestellt werden, die Mehrwerte für die Allgemeinheit darstellen.¹³⁹

Dabei sollen durch flexible Grundrisse, ausreichende Raumhöhen und durchdachte Haustechnik auch langfristig nachhaltig entworfene Hochhausprojekte entstehen. Der Sockelbereich ist weitestgehend dem Stadtraum zuzuordnen und dementsprechend als Teil des öffentlichen Raumes zu entwickeln. Mangels ausreichender Erfahrungen lehnen sich die Anforderungen für Wohnhochhäuser an denen des geförderten Wohnbaus an.¹⁴⁰

Gesundheit

- sehr gute Belichtung, Besonnung und Belüftbarkeit der Aufenthaltsräume
- besondere Maßnahmen zum Schutz vor sommerlicher Überwärmung
- hohe Wohngesundheits, Einsatz schadstoffarmer Innenausbauaterialien
- besondere Maßnahmen zur Verringerung von Immissionen
- Lärm- und Sichtschutz

Gemeinschaft

- Allgemeinflächen und Begegnungsbereiche
- Mehrfachnutzung, kommunikative Qualitäten
- Aneignbarkeit der (Außen-)Flächen durch unterschiedliche NutzerInnengruppen
- soziale Durchmischung durch Einbindung unterschiedlicher Wohnformen
- Angebote für spezifische NutzerInnengruppen, zum Beispiel in Kooperation mit BetreiberInnen

Grün- und Freiraum

- quartiersbezogene Angebote, Kommunikationsangebote, Mitbestimmungsangebote
- Spiel- und Sportangebote, geeignetes Freiraummobiliar, Spielausstattung
- geeignete Fahrrad- und Kinderwagenabstellräume
- Funktionalität und gestalterische Qualität von Fassadenbegrünungen

Gebäudestruktur

- differenziertes Angebot an Wohnungen und Grundrissen
- Funktionalität der Grundrisse
- Orientierung der Räume, Ausblicke
- der Wohnungsgröße entsprechende gut nutzbare private Freiräume
- Möblierbarkeit mit Normmöbeln
- Kombination Arbeiten und Wohnen, zum Beispiel durch wohnungsnah zumietbare Räume

Tab. 2 Anforderungen für Wohnhochhäuser nach dem Fachkonzept Hochhäuser

4.3.2 MEHRWERTE

Im Zuge des Widmungsverfahrens wird das Hochhausprojekt genau auf dessen Aufwertungspotenziale für das Umfeld untersucht. Es ist dabei klar das Ziel, signifikante Verbesserungen für das Umfeld zu schaffen und diese

¹³⁹ Vgl. Magistratsabteilung 21 (Hrsg.) 2014, S.36

¹⁴⁰ Vgl. ebenda, S. 37, 39

über die Hochhausprojekte finanzieren zu lassen. Das Fachkonzept führt an dieser Stelle einen Beispielkatalog für Mehrwertoptionen an:¹⁴¹

MEHRWERTOPTIONEN

	 GEBÄUDE	 BAUGRUND	 UMGEBUNG
FREIRAUM	<p>geregelt zugängliche Freiflächen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Innenhof • Dachflächen • Sockelbereich • Zwischengeschoss 	<p>frei zugängliche Grünanlage/Platz</p> <ul style="list-style-type: none"> • überdacht • konsumfrei • programmierbar • aneignungsfähig 	<p>übergeordneter Freiraum</p> <ul style="list-style-type: none"> • Freizeit und Erholung • Stadtteilpark • Uferpromenade • Sportanlagen • Spielplätze • Oberflächengestaltung von Straßenraum
INFRASTRUKTUR	<p>barrierefreie Anbindung von Freiräumen</p> <p>Verkehrsinfrastrukturen</p> <ul style="list-style-type: none"> • ÖNV • Gehwege • Radwege • Straßen • verkehrsberuhigte Bereiche <p>Grundinfrastrukturen - Kanalsystem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gas und Strom • Wasser 		<p>Einbindung in Umgebung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durchwegbarkeit/Porosität • Verkehrsknotenpunkt im Objekt • Levelausgleich der Umgebung • Parkplätze (Anteile Carsharing) • Radabstellflächen/Unterstellplatz • Levelausgleich (Aufzug, Brücken)

Abb. 26 Mehrwertoptionen

Unterschiedliche Projektgebiete erfordern unterschiedliche Konzepte. Mehrwerte, die für ein Gebiet ideal sein können, sind in einem anderen möglicherweise nicht gefragt. Nachfolgend wird deshalb auf die unterschiedlichen Stadtgebiete Wiens eingegangen.

4.3.3 STÄDTEBAULICHE LEITBILDER

Durch das Einbetten in das Stadtgefüge wird besonderen Wert auf die entstehenden Grün- und Freiräume gelegt, die sowohl ästhetische, technische und ökologische Aspekte erfüllen müssen. Durch die punktuell sehr hohe Stadtverdichtung steigt der lokale Energiebedarf, weshalb auch die Energieraumplanung an Bedeutung gewinnt. Je nach urbanem Kontext ist die Rolle des Hochhauses eine andere, weshalb das Fachkonzept eine

¹⁴¹ Vgl. Magistratsabteilung 21 (Hrsg.) 2014, S.40

Einteilung in sechs Stadtgebiete mit unterschiedlichen Anforderungen vorsieht.¹⁴²

Stadtgebiete

KS - Konsolidierte Stadt
 UK - Urbanes Komposit
 ST - Südliche Terrassen
 FS - Fluviale Stadtlandschaft
 TA - Transdanubische Ausdehnung
 Ü - Übergangsbereiche

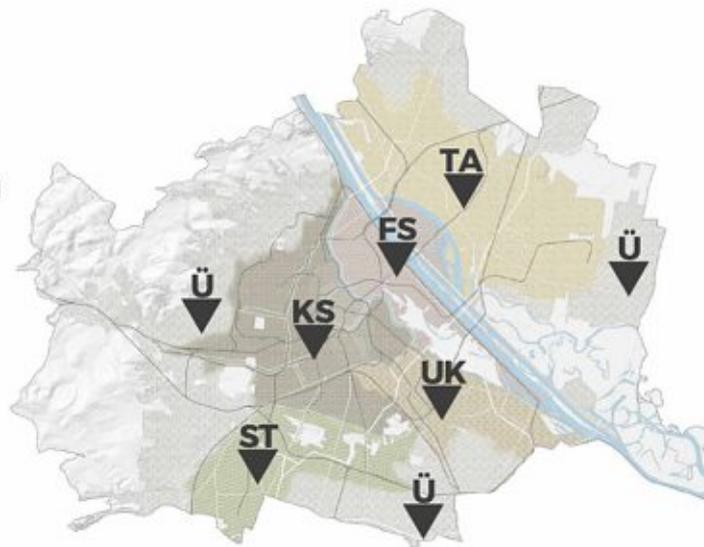


Abb. 27 Stadtgebiete

Konsolidierte Stadt

Die Konsolidierte Stadt umfasst die sehr kompakte Innenstadt, sowie die angrenzenden gründerzeitlichen Erweiterungsgebiete. Sie ist gekennzeichnet durch ihre sehr hohe soziale und bauliche Dichte, traditioneller Raumbildung und morphologischer Prägnanz. Generell sind die Gebäude in annähernd gleichen Bauhöhen ausgeführt (Ausnahmen bilden unter anderem Kirchtürme). Freiräume sind in der Regel stark komprimiert. Die Hochhausentwicklung in diesen Bereichen erfordert besondere Zurückhaltung in Bezug auf den historischen Stadtkern. Die Akzentuierung des bestehenden Höhenreliefs kann jedoch gefragt sein. Das Hervorheben markanter Punkte durch Hochhäuser, diskrete Vertikalentwicklungen in zweiter und dritter Reihe, sowie der Ausgleich von möglichen lokalen Defiziten (z.B. durch Schaffung von sozialer Infrastruktur) kann für eine Entwicklung sprechen.¹⁴³

Urbanes Komposit

Dieses Umfasst das südöstlich gelegene Stadtgebiet. Es ist durch eine hohe Variabilität baulicher und funktionaler Einheiten gekennzeichnet. Durch die

¹⁴² Vgl. Magistratsabteilung 21 (Hrsg.) 2014, S. 16

¹⁴³ Vgl. ebenda, S. 23

enorme strukturellen Disposition dieses Stadtgebietes, muss besonderes Augenmerk auf eine intelligente und realistisch umsetzbare Erdgeschosszone gelegt werden. Insbesondere gilt dies hinsichtlich der Durchlässigkeit, Sicherheit und Zugänglichkeit im Sockelbereich. Es sollen geschützte, öffentliche Räume zwischen Clustern und Gebäudeensembles geschaffen werden. Der Fokus der Mehrwerte sollte in diesem Stadtgebiet auf die qualitative Stärkung und Anreicherung des öffentlichen Raumes gelegt werden.¹⁴⁴

Südliche Terrassen

Dieses Gebiet hebt sich durch seine besondere topografische Prägung von den anderen ab. Weiträumig fallende und steigende Ebenen, sowie vereinzelte markante Plateaus definieren das Stadtgebiet. In diesem Bereich sollen zukünftige Hochhausprojekte vor allem eine integrative Rolle übernehmen. Höhen, Dichten und Räume sollen in einem gesamtheitlichen Konzept zusammengefasst werden. Solitäre Hochhäuser sind in der südlichen Terrasse nicht erwünscht. Mehrwerte können im unmittelbaren Gebiet des Ensembles, beispielsweise durch öffentliche Freiräume oder kulturelle Anziehungspunkte, für die Umgebung geschaffen werden.¹⁴⁵

Fluviale Stadtlandschaft

Das Stadtgebiet wird durch Integration der Wasserläufe (Donaukanal, Alte Donau, Neue Donau), welche spannungsreiche Übergangszonen bilden, definiert. Das daraus entstehende Archipel, mit seiner Kombination aus Auenlandschaft, verdichtetem Stadtraum und linearer Leerräume am Wasser, erzeugt einen Kontrast im Stadtgefüge. Zukünftige Projekte sollen in ein räumliches Spannungsverhältnis zu weitläufigen Freiräumen gebracht werden. Die Freiraumränder sollen durch gezielte Setzung von markanten Hochpunkten akzentuiert werden. Es gilt ein überlokales, städtebauliches Konzept zu erarbeiten, um eine dem Stadtgebiet entsprechende Höhenentwicklung zu gewährleisten. In der fluvialen Stadtlandschaft sind

¹⁴⁴ Vgl. Magistratsabteilung 21 (Hrsg.) 2014, S. 25

¹⁴⁵ Vgl. ebenda, S. 27

Mehrwerte vor allem mittels Investitionen zu schaffen, die gegebene Strukturmängel (z.B. sozialer Natur) beheben können.¹⁴⁶

Transdanubische Ausdehnung

Das weitläufige, nordöstliche Stadtgebiet jenseits der Donau definiert sich als heterogene Landschaft, die auf wenige infrastrukturelle Achsen ausgerichtet ist. Die teilweise nur lose wirkenden Siedlungsbestandteile sind das Produkt unterschiedlicher Bauepochen, die auch heute noch als ehemalige Dörfer erkennbar sind. Geplante Hochhausprojekte sollten möglichst in das bestehende Netzwerk der Siedlungsteile als Landmarken eingefügt werden und die Zwischenräume stärken. Hochhäuser können vor allem an den Siedlungsrändern, bzw. Zwischenräumen werden, wo sie die Funktion von Bindegliedern und Anziehungspunkten übernehmen. In diesem feinen kapillaren Netz aus Siedlungen und Hochpunkten übernimmt das Hochhaus eine entscheidende Rolle in der Gesamtkomposition. Die Mehrwerte in dieser Zone sollten folglich vor allem in der Etablierung, Ausrüstung und Stärkung der öffentlichen Zwischenräume liegen. Dadurch werden Netzwerke und Synergien zwischen den zunächst losen Siedlungsfragmenten geschaffen.¹⁴⁷

Übergangsbereiche

Nicht unwesentliche Anteile des Wiener Stadtgebietes sind nach wie vor landwirtschaftlich genutzte Flächen. Zwischen den Wiener Grünzonen (Lobau, Wiener Wald) und dem dichten Stadtgefüge erstrecken sich Übergangsbereiche, die durch eine offene Bauweise und starke Durchgrünung gekennzeichnet sind. Die Höhenentwicklung ist aufgrund der örtlichen Gegebenheiten mit maximale Bauklasse V zu beziffern, was den Hochhausbau gemäß dem Fachkonzept für diese Bereiche vorerst ausschließt.¹⁴⁸

¹⁴⁶ Vgl. Magistratsabteilung 21 (Hrsg.) 2014, S. 2

¹⁴⁷ Vgl. ebenda, S. 31

¹⁴⁸ Vgl. ebenda S. 33

4.4 DIE OIB-RICHTLINIEN

Generell wird rechtlich nicht zwischen konventionellen Hochhäusern und Holzhochhäusern unterschieden. Die OIB-Richtlinien als Mittel zur Harmonisierung der bautechnischen Vorschriften decken folgende Bereiche ab:

- OIB 1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- OIB 2: Brandschutz
 - 2.1 Brandschutz bei Betriebsbauten
 - 2.2 Brandschutz bei Garagen, überdachten Stellplätzen und Parkdecks
 - 2.3 Brandschutz für Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 Metern
- OIB 3: Hygiene, Gesundheit, Umweltschutz
- OIB 4: Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit
- OIB 5: Schallschutz
- OIB 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz

Bei der Errichtung von Gebäuden sind diese einzuhalten. Für den Holzhochhausbau ist insbesondere die Richtlinie 2, in der die generellen Brandschutzanforderungen beschrieben werden in Kombination mit 2.3 (besonderen Bestimmungen für Gebäude mit einem Fluchtniveau über 22m) relevant.¹⁴⁹

4.4.1 ALLGEMEINE GEBÄUDEANFORDERUNGEN NACH OIB 2

Gebäude müssen so entworfen und ausgeführt werden, dass sie auch im Fall eines Brandes folgende Eigenschaften aufweisen:

- Das Bauwerk muss seine Tragfähigkeit für einen bestimmten Zeitraum erhalten
- Die Ausbreitung des Brandes und Rauchs innerhalb und auf angrenzende Gebäude muss begrenzt werden

¹⁴⁹ Vgl. Teibinger 2015, S. 3

- Personen, die zur Zeit des Brandes im Gebäudeinneren befindlich sind, müssen dieses unversehrt verlassen, bzw. durch Rettungsmaßnahmen befreit werden können
- Das Gebäude muss zur Brandbekämpfung zugänglich und die Sicherheit der Rettungsmannschaft gewährleistet sein

Zur Erreichung dieser Schutzziele stehen prinzipiell folgende Brandschutzarten zur Verfügung:

- Baulicher Brandschutz
- Anlagentechnischer Brandschutz
- Organisatorischer Brandschutz
- Abwehrender Brandschutz

4.4.2 ANFORDERUNGEN AN BAUPRODUKTE

In Europa erfolgt die Einteilung von Bauprodukten gemäß ihres Brandverhaltens und ihres Feuerwiderstandes. Die ÖNORM EN 13501-1 beschreibt dabei folgende Brennbarkeitsklassen:

- A1, A2: kein Beitrag zum Brand (nicht brennbar)
- B: sehr begrenzter Beitrag zum Brand (schwer entflammbar)
- C: begrenzter Beitrag zum Brand (schwer entflammbar)
- D: hinnehmbarer Beitrag zum Brand (normal entflammbar)
- E: hinnehmbares Brandverhalten (normal entflammbar)
- F: keine Leistung festgestellt (leicht entflammbar)

Des Weiteren werden die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen in Klassen eingeteilt:¹⁵⁰

Rauchentwicklung „s“ (smoke)

s1: geringe Rauchentwicklung
s2: mittlere Rauchentwicklung
s3: starke Rauchentwicklung

Abtropfen „d“ (droplets)

d0: kein Abtropfen
d1: begrenztes Abtropfen
d2: starkes Abtropfen

¹⁵⁰ Vgl. ÖNORM EN 13501-1

Holzprodukte	ÖNORM EN 13501-1
Massivholzplatten	D, s2, d0
OSB	D, s2, d0
Faserplatten	D, s2, d0
Sperrholz (mit Feuerschutzmittel)	C (Feuerschutz) / D, s2, d0
Spanplatten (mit Feuerschutzmittel)	B, C (Feuerschutz) / D, s2, d0

Tab. 3 Holzbauprodukte nach ÖNORM EN 13501-1

Wie in Tab. 3 beschrieben, fallen laut europäischer Klassifizierung die meisten Holzbaustoffe in die Kategorie D, s2, d0. Das bedeutet, dass sie als normal entflammbar gelten, im Brandfall eine mittlere Rauchentwicklung haben und nicht brennend Abtropfen oder Abfallen.

Zu den Anforderungen an das Brandverhalten werden außerdem Anforderungen an den Feuerwiderstand von Baustoffen gestellt. Die sogenannten REI-Klassen werden in der ÖNORM EN 13501-2 formuliert und in der nachfolgenden Tabelle gelistet und erläutert.¹⁵¹

Kurzzeichen	Bedeutung	Abgeleitet von	Anwendungsbereich
R	Tragfähigkeit	Résistance	Feuerwiderstandsfähigkeit
E	Raumabschluss	Étanchéité	
I	Wärmedämmung	Isolation	
I ₂	Wärmedämmung (Randbereich Tür)	Isolation	Feuerschutzabschlüsse
30, 60, 90	Feuerwiderstandsdauer [min]		Alle Bauteile
S _a , S _m	Begrenzung d. Rauchdurchlässigkeit	Smoke	Rauchschtztüren, Lüftungsanlagen
C	selbstschließend	Closing	Rauchschtztüren, Feuerschutzabschlüsse

Tab. 4 Feuerwiderstandsklassifizierung nach ÖNORM EN 13501-2

4.4.3 GEBÄUDEKLASSEN

Die OIB-Richtlinie 2 unterteilt sämtliche Gebäude gemäß ihrer Brandschutzanforderungen in fünf Klassen. Gebäude ab einem Fluchtniveau von 22m werden in der OIB 2.3 extra behandelt. Mit gewissen Parametern,

¹⁵¹ Vgl. Teibinger 2015, S.5

kann die Gebäudeklasse bestimmt werden. Unter anderem zählen die Geschossflächen, die Anzahl der Geschosse, die Bauweise und das Fluchtniveau dazu.¹⁵²

- Gebäudeklasse 1 (GK1): Fluchtniveau max. 7m
- Gebäudeklasse 2 (GK2): Fluchtniveau max. 7m (nicht GK1)
- Gebäudeklasse 3 (GK3): Fluchtniveau max. 7m (nicht GK1, GK2)
- Gebäudeklasse 4 (GK4): Fluchtniveau max. 11m (nicht GK1, GK2, GK3)
- Gebäudeklasse 5 (GK5) Fluchtniveau max. 22m
- Fluchtniveaus von mehr als 22m:
 - Bestimmungen für Gebäude mit Fluchtniveau 22-32m
 - Bestimmungen für Gebäude mit Fluchtniveau 32-90m
 - Bestimmungen für Gebäude mit Fluchtniveau >90m

Für Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 22m gilt für die gelisteten Bauteile zumindest eine Klasse von REI90 A2:¹⁵³

- Wände und Decken von Sicherheitstreppehäusern
- Tragende Wände
- Brandabschnittsbildende Bauteile (Wände, Decken)
- Decken von Balkonen und Loggien
- Dachschrägen und Decken mit einer Neigung von weniger als 60°
- Tragende Decken und Wände um Schleusen und offenen Gängen

Nicht tragende Bauteile (z.B. Trennwände) müssen zumindest in EI90 ausgeführt werden. Ebenso gilt für diese Gebäude nachfolgende Tabelle, sofern dies nicht in der OIB 2.3 anders spezifiziert wird.¹⁵⁴

¹⁵² Vgl. OIB-Richtlinie 2 2015, S. 5

¹⁵³ Vgl. OIB-Richtlinie 2.3 2015, S.2-3

¹⁵⁴ Vgl. OIB-Richtlinie 2 2015, S. 2-3

1 Fassaden		
1.1	Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme	A2-d1
1.2	Fassadensysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete	
1.2.1	Gesamtsystem <i>oder</i>	A2-d1
1.2.2	Einzelkomponenten	
	- Außenschicht	A2-d1
	- Unterkonstruktion stabförmig / punktförmig	A2 / A2
	- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	A2
1.3	sonstige Außenwandbekleidungen oder -beläge	A2-d1
1.4	nichttragende Außenwandbauteile	A2-d1
1.5	Gebäudetrennfugenmaterial	A2
1.6	Geländerfüllungen bei Balkonen, Loggien u. dgl.	A2
2 Treppenhäuser und Gänge außerhalb von Wohnungen: Bekleidungen und Beläge sowie abgehängte Decken		
2.1	Wandbekleidungen ⁽¹⁾	
2.1.1	Gesamtsystem <i>oder</i>	A2; die Oberflächen müssen geschlossen sein, wenn kein Belag vorhanden ist
2.1.2	Einzelkomponenten	
	- Außenschicht	A2
	- Unterkonstruktion	A2
	- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	A2; bei Mantelbeton sind Dämmschichten der Klasse B zulässig
2.2	abgehängte Decken	A2-s1, d0
2.3	Wand- und Deckenbeläge	A2-s1, d0
2.4	Bodenbeläge	A _{2fi} ; Bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 32 m genügt bei Gängen B _{fi} .
2.5	Geländerfüllungen	A2
3 Dächer mit einer Neigung ≤ 60°		
3.1	Dacheindeckung bzw. Bedachung	B _{ROOF} (t1); Dacheindeckung, Lattung, Konterlattung und Schalung müssen der Klasse A2 entsprechen; abweichend davon sind für Lattung, Konterlattung und Schalung auch Holz und Holzwerkstoffe der Klasse D zulässig; Bei Dächern mit einer Neigung < 20° genügt als oberste Schicht auch 5 cm Kies oder Gleichwertiges;
3.2	Dämmschicht bzw. Wärmedämmung in der Dachkonstruktion	A2; Auf allen in REI 90 und A2 hergestellten Dächern mit einer Neigung < 20° sind auch EPS, XPS und PUR der Klasse E zulässig.
4 nicht ausgebaute Dachräume		
4.1	Bekleidung (Fußbodenkonstruktion)	
4.1.1	Gesamtsystem <i>oder</i>	B
4.1.2	Einzelkomponenten	
	- Außenschicht	A2
	- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	A2; auf allen in REI 90 und A2 hergestellten Dächern mit einer Neigung < 20° sind auch EPS, XPS und PUR der Klasse E zulässig.
4.2	Bodenbeläge	A _{2fi} ; Bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 32 m genügt B _{fi} -s1; es sind auch Bodenbeläge in D _{fi} zulässig, wenn die Wärmedämmung bzw. Dämmschicht in A2 ausgeführt wird.
(1) Fehlen in Gängen und Treppenhäusern Wand- bzw. Deckenbeläge, gelten für die Bekleidung (als Gesamtsystem) bzw. die Außenschicht der Bekleidung die Anforderungen für Wand- bzw. Deckenbeläge gemäß Zeile 2.3.		

Tab. 5 Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten gemäß OIB 2.3

Das bedeutet, dass Bauteile zumindest eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten haben müssen, und gleichzeitig aus nicht brennbarem Material bestehen dürfen. Eine Ausnahme bilden dabei wie in Tab. 5 beschrieben nicht ausgebaute Dachräume.

Zusätzlich zu den Anforderungen an die Bauteile werden in der OIB 2.3 weitere Maßnahmen und Ausführungsvorgaben beschrieben. Beim Aspekt Flucht, Sicherheit und Brandbekämpfung betrifft dies unter anderem

Fassade, Brandabschnitte, Infrastruktur und den anlagentechnischen und organisatorischen Brandschutz. Unter Abhängigkeit der Fluchtniveaus entstehen ab 32m und ab 90m zusätzliche Sicherheitsanforderungen.¹⁵⁵

Gebäude Fluchtniveau 32-90m	Gebäude Fluchtniveau >90m
Fluchtwege: 40m bis Sicherheitstreppenhaus Stufe 2	Jedenfalls Brandschutzkonzept erforderlich
Brandmeldeanlagen im Vollschutz	
Maßnahmen z. Einschränkung vertikaler Brandübertragung (automatische Löschanlage)	

Tab. 6 Anforderungen für Gebäude mit erhöhtem Fluchtniveau, nach OIB 2.3

All diese bisher genannten Aspekte machen die Ausführung eines Holzhochhauses auf den ersten Blick unmöglich. Jedoch hat das OIB für besonders komplexe und große Bauwerke und Sondergebäude einen „Leitfaden – Abweichung im Brandschutz und Brandschutzkonzept“ publiziert, unter dessen Anleitung von den bestehenden Richtlinien abgewichen werden kann.

4.5 LEITFADEN ZUR ABWEICHUNG VON OIB-RICHTLINIE 2

Durch den Leitfaden wird erläutert, wie man zu sogenannten „Nachweisen der Gleichwertigkeit“ gelangt. Dies gilt insbesondere dann, wenn den Anforderungen der OIB Richtlinie 2 (inklusive 2.1; 2.2; 2.3) nicht entsprochen werden kann, oder Brandschutzkonzepte bereits in einer der Richtlinien verlangt werden. Das Ziel besteht darin, die brandschutztechnischen Schutzziele, wie sie im Kapitel „Allgemeine Gebäudeanforderungen“ dargelegt sind, zu erreichen.¹⁵⁶

Gemäß dem Leitfaden wird zwischen unwesentlichen und wesentlichen Abweichungsfällen unterschieden. Erstere liegen vor, wenn durch die Änderung keinerlei Auswirkung auf die Gefährdung von Personen, Leben und Gesundheit sowie Brandausbreitung gegeben ist. Es werden keine zusätzlichen Brandschutzmaßnahmen benötigt, es muss aber schlüssig

¹⁵⁵ Vgl. OIB-Richtlinie 2.3 2015, S. 3-9

¹⁵⁶ Vgl. OIB-Leitfaden RL 2 2015, S. 2

argumentiert werden. Weitere sind dann gegeben, wenn sich dadurch Auswirkungen auf die obengenannten Aspekte ergeben. Durch Brandschutzmaßnahmen ist zu belegen, dass trotz der Abweichungen von den OIB-Richtlinien die Schutzziele zumindest gleichwertig erfüllt werden. Auch dies muss schlüssig dargestellt werden. Zusätzlich muss dargelegt werden, von welchen Richtlinien und Punkten abgewichen wird, welche Ersatzmaßnahmen getroffen werden und warum diese als gleichwertig zu betrachten sind. Gegebenenfalls muss die Begründung durch ein Brandschutzkonzept erfolgen (Bsp. Bei Hochhäusern mit einem Fluchtniveau >90m).¹⁵⁷

4.5.1 BRANDSCHUTZKONZEPT

Das Ziel des Brandschutzkonzeptes ist der Nachweis der gleichwertigen Erreichung der gegebenen Schutzziele. Die Hauptbestandteile sind Risikoanalyse, Festsetzung der Schutzziele sowie eine Brandgefahrenermittlung. Der Nachweis kann über drei Methoden erbracht werden:

- Gutachten
- Methoden des Brandschutzingenieurwesens
- Analogieschlüsse gemäß bestehender Regelwerke

Grundsätzlich kann zwischen zwei Arten des Brandschutzkonzeptes unterschieden werden.

Standard Brandschutzkonzept

Hierbei erfolgt der Nachweis anhand bestehender Regelwerke, Richtlinien und Normen. Eine zusammenfassende und vollständige Beschreibung der gesamten Brandschutzmaßnahmen bildet den Kern des Konzepttyps. Die Beweiserbringung beruht auf einer schlüssigen, verbalen Argumentation.¹⁵⁸

Brandschutzkonzept mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens

Bei dieser Methode wird durch anerkannte, rechnerische Verfahren nachgewiesen, dass die Standsicherheit des Bauwerkes, zeitgerechte

¹⁵⁷ Vgl. OIB-Leitfaden RL 2 2015, S. 2-3

¹⁵⁸ Vgl. ebenda, S. 4

Benutzbarkeit der Fluchtwege, und eine ordnungsgemäße Bandbekämpfung möglich sind. Folgende Methoden können hierfür in Betracht gezogen werden:

- Brand- und Rauchversuche
- Personenstromanalysen
- Brandsimulationen
- Beurteilung des Brandverhaltens der Tragwerke und Bauteile

Die Brandschutzmaßnahmen umfassen die bereits im Kapitel „Allgemeine Gebäudeanforderungen nach OIB“ genannten Varianten und werden in der Folge noch detaillierter dargestellt:¹⁵⁹

Baulicher Brandschutz

Dieser umfasst sämtliche Brandschutzmaßnahmen, die zur Errichtung bzw. Adaption der baulichen Anlagen getroffen werden. Unter anderem können dies z.B. die Ausbildung von Brandabschnitten, Bereitstellung von Löschwasser oder die normgerechte Erstellung von Konstruktionen mit raumabschließender und tragender Wirkung sein. Im Fokus stehen deshalb das Brandverhalten der verwendeten Baustoffe, die Feuerwiderstände der Bauteile, sowie die Planung von ausreichenden Flucht- und Rettungswegen.

Anlagentechnischer Brandschutz

Er dient unter anderem der rechtzeitigen Erkennung von, Alarmierung bei und Lokalisierung von Bränden. Des Weiteren fallen auch operative Maßnahmen wie die Brandverhinderung, Brandlöschung, Entrauchung und Eingrenzung der Brandausbreitung durch Anlagen in diese Kategorie.

Organisatorischer Brandschutz

Dazu zählen vor allem Maßnahmen zur Steigerung des Brandschutzes wie die Kennzeichnung von Flucht- und Rettungswegen, Instandhaltung und Wartung von Löschgeräten, sowie der Aushang der Brandschutzverordnung.

¹⁵⁹ Vgl. OIB-Leitfaden RL 2 2015, S. 4-7

Abwehrender Brandschutz

Dieser beinhaltet vor allem Maßnahmen, die im Brandereignis durch die Feuerwehr und andere helfende Stellen unternommen werden.¹⁶⁰

Die Beurteilung der Brandschutzkonzepte erfolgt durch die zuständige Genehmigungsbehörde.¹⁶¹

Zusammengefasst bedeutet das, dass die Machbarkeit von Holzhochhäusern in Österreich rechtlich durchaus gegeben ist. Es sind jedoch erhöhte Auflagen zu beachten, um die Ziele der Richtlinien durch Kompensationsmaßnahmen zu erreichen.

4.6 DER INTERNATIONALE VERGLEICH

Nach der Analyse des österreichischen Sachverhaltes wird nachfolgend die Machbarkeit von Holzhochhäusern anderer Länder beleuchtet.

4.6.1 DEUTSCHLAND

Die grundlegenden Anforderungen, die ein Bauwerk zu erfüllen hat, werden in Deutschland durch die Landesbauordnung der Bundesländer geregelt. Vergleichbar mit den OIB-Richtlinien gibt die „Musterbauordnung“ MBO genauere Anforderungen an Bauwerke vor. Auch hier werden fünf Gebäudeklassen und Sonderbauten in Abhängigkeit von Fluchtniveau und Geschossfläche unterschieden. Laut der MBO müssen ab Gebäudeklasse 5 alle tragenden Bauteile feuerbeständig ausgeführt sein. Schlussfolgernd dürfen hier Gebäude grundsätzlich lediglich bis Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise errichtet werden.¹⁶² In den letzten Jahren hat sich allerdings gezeigt, dass auch ganz ähnlich dem österreichischen Prozess durch ein individuelles Brandschutzkonzept von den Richtlinien abgewichen werden kann. Hierzu kann beispielsweise das Gebäude „Skaio“ mit einer Bauhöhe von 34m in Heilbronn genannt werden.

¹⁶⁰ Vgl. Baunetzwissen.de

¹⁶¹ Vgl. OIB-Leitfaden RL 2 2015, S. 6

¹⁶² Vgl. Christanell 2015, S30

4.6.2 SCHWEIZ

Hier wird der Brandschutz durch die „Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen“ VKF geregelt. Im Unterschied zu den Richtlinien der deutschen MBO sind die VKF jedoch Gesetze.¹⁶³ Seit der 2015 gültigen Version der VKF sind in der Schweiz Holzhochhäuser bis zu einer Gesamthöhe von 30m zulässig. Dies gilt für Büro-, Wohn-, und Schulgebäude, sowie, Gewerbe- und Industriebauten, Verkaufsgeschäfte und Beherbergungsbetriebe. Mit der Neuregelung sind brandrobuste Holzbauteile, die durch nichtbrennbare Bekleidung geschützt sind, mit nichtbrennbaren Bauteilen gleichzustellen.¹⁶⁴

4.6.3 GROSSBRITANNIEN

Zum einen gibt es in Großbritannien die „British Standards“, welche europäische und britische Normen vereinen. Andererseits verfügen lokale Behörden über die Befähigung, bei Gebäuden gewisser Größenordnung Forderungen nach Maßnahmen gemäß ihrem jeweiligen Ermessen zu erteilen. Weitere Regulationen wie die „National Building Regulations“ NBR sowie die „Approved Documents“ entsprechen dem Stand der Technik und sind rechtlich bindend. Das britische Äquivalent zur Brandschutzverordnung ist im „Part B – Fire Safety“ geregelt. Diese richtet sich nach Geschosszahl und Gebäudenutzung. Zwischen den verwendeten Baumaterialien wird kein Unterschied gemacht, was bedeutet, dass im Holzbau unter Einhaltung der gegebenen Gesetze keine Höhenbeschränkung gegeben ist.¹⁶⁵

4.6.4 SCHWEDEN, NORWEGEN, DÄNEMARK

Wie in den meisten Ländern war es auch in den nordischen Ländern verboten über zwei bis drei Geschosse hoch zu bauen. Bereits 1994 war Schweden das erste Land, welches die uneingeschränkte Benutzung von Holz als Baustoff erlaubte, solange alle funktionalen Anforderungen erfüllt wurden. Später

¹⁶³ Vgl. ebenda, S. 30

¹⁶⁴ Vgl. Holzbaukunst.at

¹⁶⁵ Vgl. Christanell 2015, S. 31

zogen auch Norwegen und Dänemark nach und ab dem Jahr 2004 war auch dort ein uneingeschränkter Gebrauch zulässig¹⁶⁶

4.6.5 JAPAN

Das „Building Standard Law of Japan“ BSL-J, welches im Jahr 2000 etabliert wurde, bildet die Grundlage 3 für die Entwicklung von Gebäuden. Darin bestimmen vier Hauptfaktoren über die brandschutztechnischen Anforderungen:

- Gebäudefunktion / Gebäudenutzung
- Spezialbauten (z.B. Wohnbauten)
- Geschossanzahl
- Gebäudeanforderungen nach Brandschutzzonen

Zonierungssystem der Stadtplanung nach BSL-J

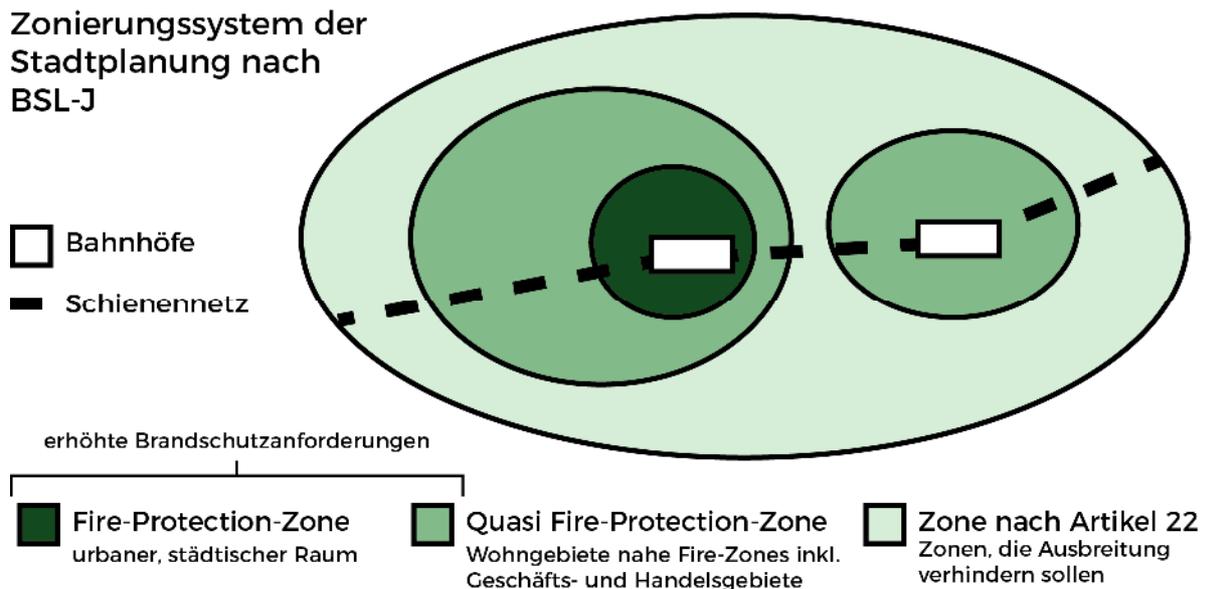


Abb. 28 Zonierungssystem nach den BSL-J

Die Brandschutzklasse, die von einem Gebäude zu erfüllen ist, kann anhand nachfolgenden Schemas beurteilt werden.

¹⁶⁶ Vgl. Schauerte 2010, S. 5

Ablaufschema zur Bestimmung der Brandschutzanforderungen eines Gebäudes

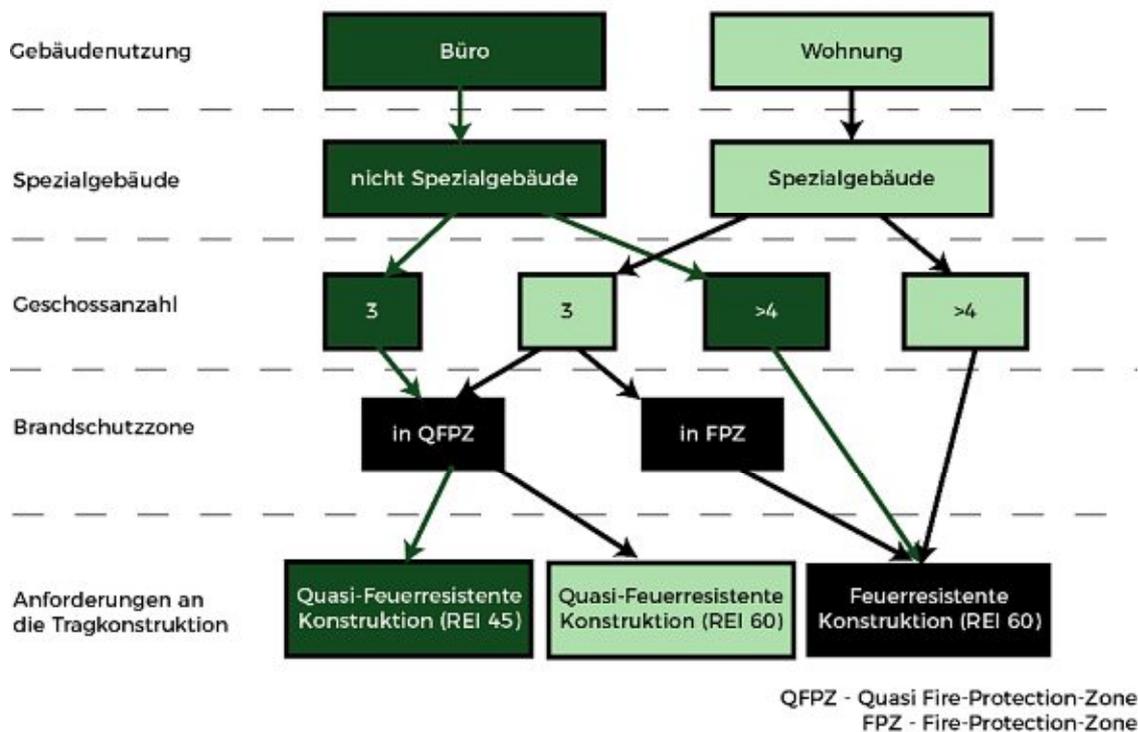


Abb. 29 Ablaufschema nach BSL-J

Wie dem oberen Schema zu entnehmen begrenzt Japan nach dem BSL-J ab dem vierten Geschoss den Bau auf nichtbrennbare Baustoffe. Auch hier kann ein brennbares Material ein nicht-brennbares substituieren, sofern eine zusätzliche Brandwiderstandsdauer von 180 Minuten erfüllt wird, wodurch unter Einhaltung der Vorgaben kein Höhenlimit für Holzbauten besteht.¹⁶⁷

4.6.6 USA

In den USA gibt es im Wesentlichen zwei Normen, die den Brandschutz regeln. Einerseits ist das der „International Building Code“ IBC, andererseits die Norm 5000 der „National Fire Protection Association“ NFPA.¹⁶⁸

Der IBC definiert dabei 5 Konstruktionstypen (I-V), welche unterschiedlich hohe Anforderungen an den Brandschutz haben. Die IBC 2015 ermöglicht Gebäude in Holzbauweise bis zu sechs Geschossen und einer maximalen

¹⁶⁷ Vgl. Christanell 2015, S. 52

¹⁶⁸ Vgl. ebenda, S. 31

Bauhöhe von 85 Fuß (entspricht 25,9m), unter Verwendung von NFPA 13 Sprinklersystemen.¹⁶⁹

4.6.7 KANADA

Die Regulierungen des Bauwesens fällt in Kanada in den Zuständigkeitsbereich der einzelnen Provinzen. Diese übernehmen zwecks Harmonisierung entweder den „National Building Code of Canada“ NBCC oder adaptieren ihn für die eigene Provinz. Obwohl Gebäude in Holzbauweise mit mehr als sechs Geschossen nicht den aktuellen Normen Kanadas entsprechen, wird derzeit an einer Anpassung des NBCC gearbeitet, um große Holzgebäude zu erlauben. Bis dahin können solche über den „alternative solutions approach“ entworfen und gebaut werden. Hierbei wird ähnlich den anderen bisher genannten Staaten ein Nachweis für die Gleichwertigkeit des Brandschutzes fällig. Manche Provinzen bieten zusätzlich noch andere Möglichkeiten an.¹⁷⁰

¹⁶⁹ Vgl. American Wood Council 2015, S. 8

¹⁷⁰ Vgl. Craft 2018

5 DAS HOLZHOCHHAUS: WIRTSCHAFTLICH

In diesem Kapitel wird auf die wirtschaftliche Komponente des Holzhochhauses eingegangen. Es werden hierzu sowohl Kosten beleuchtet, die im Zusammenhang mit dem Entwurf, der Ausführung und Widmung entstehen, sowie Mehrwerte und Potenziale aufgezeigt.

5.1 HOCHHAUSSPEZIFISCHE KOSTEN

Im modernen Hochhausbau gibt es eine Vielzahl an Faktoren, die sich auf die Kosten des fertigen Hochhauses auswirken:

- Stärkere Windlasten benötigen eine widerstandfähige Konstruktion
- Vertikale Transportmittel, insbesondere Liftanlagen
- Höhere Anforderungen an das Haustechniksystem (z.B. höherer Wasserdruck erforderlich)
- In der Bauphase: Kosteneffekte bedingt durch Größe und Komplexität (Baustofftransport, Arbeit)
- Risiko durch Einzigartigkeit der Projekte dieser Größenordnung, weshalb auf einen begrenzten Pool an Experten zugegriffen werden muss
- Höhere Sicherheitsanforderungen
- Abgaben an öffentliche Hand

Die meisten dieser Einflussfaktoren sind selbsterklärend. Nachfolgend werden jedoch einige wichtige Punkte genauer beleuchtet.¹⁷¹

5.1.1 LIFTANLAGEN

Die Anzahl der in einem Hochhaus benötigten Liftanlagen hängt von einigen Faktoren ab. Hauptfaktor stellt dabei die Gebäudedefunktion dar. Ein Wohngebäude weist ein anderes Nutzungsverhalten auf als beispielsweise ein Bürogebäude, das in einigen kleinen Zeitfenster einen sehr starken Bedarf aufweist. Weitere wichtige Faktoren sind die Anzahl der Personen, die Gebäudehöhe, Geschossfläche und Geschosshöhe. Weiters stellen in

¹⁷¹ Vgl. De Jong, Van Oss 2007, S. 500

Hochhäusern auch die Liftkonfigurationen einen kostenbeeinflussenden Aspekt dar. Durch die Bündelung von Liftanlagen in Gruppen, zur Bedienung unterschiedlicher Gebäudezonen (vertikale Trennung), erhöht sich die Personenkapazität der Anlagen. In der Folge werden Wartezeiten verkürzt, wodurch die Personenanzahl pro Lift sinkt und die Liftkabine wiederum kleiner ausgestaltet werden kann. Zu viele Liftgruppen erhöhen allerdings den Schachtbedarf enorm und mindern dadurch den positiven Effekt. Außerdem ist in vielen Ländern ab dem Erreichen einer gewissen Bauhöhe (so auch in Österreich, vgl. OIB RI. 2) das Einrichten eines Feuerwehraufzuges notwendig.

Die Liftanlagen nehmen in Hochhäusern einen beachtlichen Teil der Bruttogeschossfläche ein. Schlussendlich ergeben sich die Kosten der Liftanlagen vor allem durch:¹⁷²

- Die Errichtung und Installation
- Mehrkosten durch höhere Anzahl an Stopps
- Mehrkosten durch Liftgruppen
- Mehrkosten durch Wartung
- Mehrkosten durch Platzverbrauch

5.1.2 GEBÄUDEEFFIZIENZ

Während die Kosten, die durch die Liftanlagen verursacht werden, einen beträchtlichen Teil zur Kostensteigerung eines Hochhauses beitragen, steigen die Kosten durch Ineffizienzen in der Gebäudeausnutzung wesentlich stärker. Durch hohe Brandschutzanforderungen, die benötigten Lifte und Haustechnik, die sich zumeist in einem Kern bündeln, gehen enorme Teile der Bruttogeschossfläche an infrastrukturelle Gebäudeteile verloren.¹⁷³

¹⁷² Vgl. De Jong, Van Oss 2007, S. 502-503

¹⁷³ Vgl. ebenda, S. 506

Anzahl der Geschosse	Effizienz in Prozent
2 bis 4	88-91
5 bis 9	84-88
10 bis 19	77-85
20 bis 29	75-83
30 bis 39	74-79
40 +	72-77

Tab. 7 Gebäudeeffizienz nach Geschossanzahl

5.1.3 FASSADEN

Die Tabelle 7 zeigt deutlich, dass durch die steigende Bauhöhe die Ineffizienz von Gebäuden steigt. Neben den Liftanlagen stellen enorme Fassadenflächen einen großen Kostenfaktor dar. Durch Gebäude mit verhältnismäßig kleinen Grundrissen steigt der relative Fassadenanteil erheblich. Da man in Österreich durch die OIB-Richtlinie 3 und die Arbeitsstättenverordnung ein Mindestmaß an Belichtungsfläche einhalten muss, sind wirklich tiefe Grundrisse in Österreich deshalb unrealistisch.

Verglichen mit dem Willy's Tower (Anm. ehemaliger Sear's Tower) in Chicago - Illinois, der in manchen Geschossen eine Ausdehnung von 70x70 m² erreicht, ist der Fassadenanteil in österreichischen Hochhäusern dementsprechend höher.¹⁷⁴

5.1.4 TRAGWERK

Werden die einzelnen Tragwerksteile eines Bauwerkes untereinander verglichen, so kann festgestellt werden, dass mit zunehmender Bauhöhe die Kosten für Geschossdecken beinahe unverändert bleiben. Mit steigender Geschosszahl nimmt der Kostenanteil von Stützen und Wänden unter zunehmender Vertikallast nahezu linear zu. Den größten Einfluss jedoch bilden die zusätzlichen Aussteifungsanforderungen gegen die Horizontallast, unter der sich die Kostenanteile nach der Geschossanzahl exponentiell entwickeln. Mit zunehmender Gebäudehöhe muss daher darauf geachtet werden, dass die verwendeten horizontalen Aussteifungssysteme möglichst

¹⁷⁴ Vgl. De Jong, Van Oss 2007, S. 507

effizient sind. Denn ohne ein solches ist ein wirtschaftliches Hochhaus defacto nicht möglich.¹⁷⁵

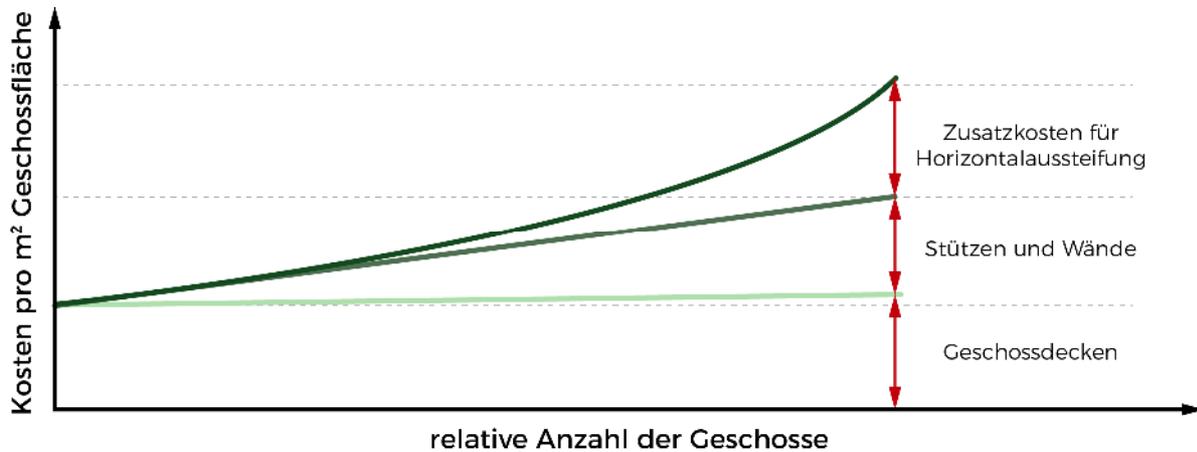


Abb. 30 Anteilige Kosten der Lastabtragung

5.1.5 GEBÄUDEKOSTENSCHLÜSSEL

Auf Basis der vier vorhergehenden Kapitel lässt sich sagen, dass die Gebäudehöhe einen sehr starken Einfluss auf die Gebäudekosten hat.

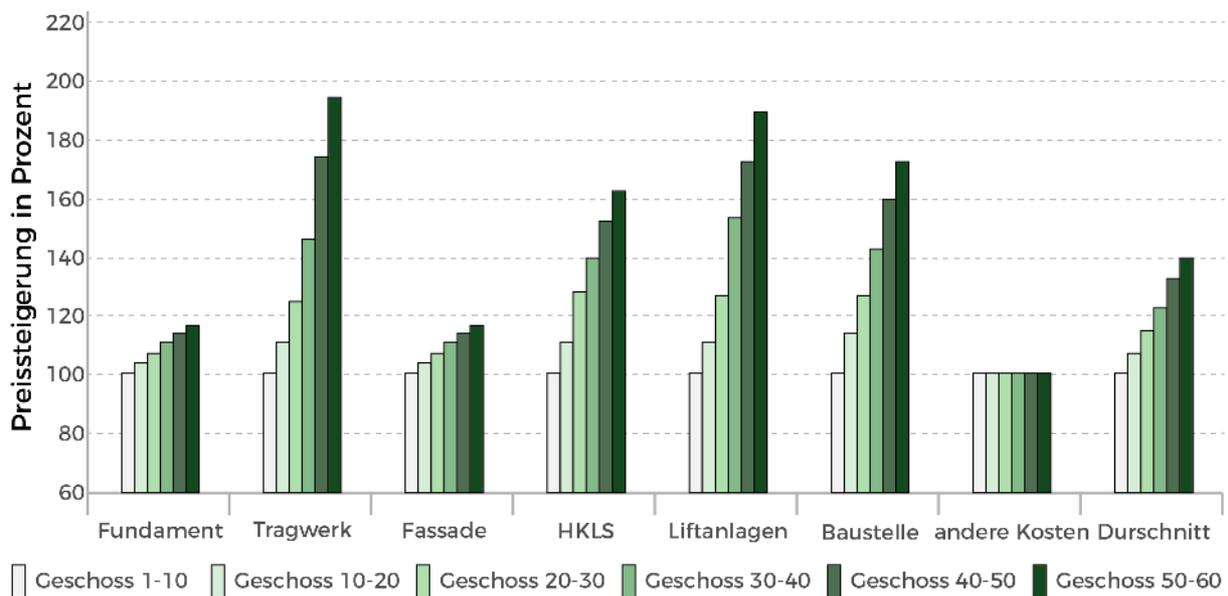


Abb. 31 Preissteigerungsschlüssel nach Geschossanzahl

Die Fundierung des Hochhauses macht trotz der erhöhten Anforderungen nur einen sehr geringen Teil der Gesamtkosten aus. Die Konstruktionskosten, welche im Durchschnitt rund 16% der Kosten verursacht erhöht sich um 10-15% pro 10 Geschosse. Der Grund dafür liegt vor allem in den steigenden

¹⁷⁵ Vgl. Eisele, Kloft 2002, S. 102

Lasten und den erhöhten Sicherheitsanforderungen. Die Fassadenkosten steigen um rund 3-4% pro 10 Geschosse. Auch die Einwirkung der sogenannten technischen Gebäudeausrüstung (Heizung, Lüftung, Elektrik, Leitungsführung) steigt alle 10 Geschosse um 10-15%, abhängig von der Fläche und der möglichen Personenanzahl. Die Kostensteigerung der Liftanlagen kann mit rund 15-20% für jedes 10. Geschoss beziffert werden, da ihr Volumen steigt und diese höheren Installations- und Brandschutzanforderungen erfüllen müssen. Der letzte Faktor, der berücksichtigt werden muss, ist die Baustelleneinrichtung. Auch hier steigen die Kosten mit der Bauhöhe. Außerdem kann durch komplexe (z.B. sehr schmale) Grundstücke die Gesamtbelastung steigen.¹⁷⁶

5.1.6 STEIGERUNG DER KOSTEN DURCH BAUHÖHE

Durch die bereits aufgeschlüsselten Gebäudekosten ergibt sich eine ungefähre Kostensteigerung von rund 0,8% pro Geschoss, welche hauptsächlich durch den steigenden Arbeitsaufwand, Komplexität, Liftanlagen, Anforderungen an die Haustechnik, sowie die stetig steigenden Ansprüche an die Tragstruktur verursacht werden.¹⁷⁷

5.1.7 NUTZUNGSKOSTEN

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass für Hochhäuser generell mit höheren laufenden Kosten zu rechnen ist.

Dadurch, dass die meisten Hochhäuser solitäre Baukörper sind, sind diese zumeist ganztätig der Sonneneinstrahlung ausgesetzt, wodurch sich das Gebäudeinnere im Vergleich zu einem klassischen Stadthaus verhältnismäßig stärker erhitzt. Je größer dabei der transparente Anteil der Fassade, desto mehr Sonnenlicht kann in das Gebäude eindringen. Opake Elemente hingegen reflektieren und absorbieren die Sonneneinstrahlung. Dabei gilt, je größer der Reflexionsgrad des jeweiligen Bauteils, desto weniger Strahlung wird in Wärme umgesetzt.¹⁷⁸

¹⁷⁶ Vgl. De Jong, Van Oss 2007, S. 509

¹⁷⁷ Vgl. ebenda, S. 510

¹⁷⁸ Vgl. Eisele, Kloft 2002, S. 179

Die Behaglichkeit des Menschen in einem Bauwerk ist abhängig von der gegebenen Luftfeuchtigkeit sowie der Raumlufttemperatur und Strahlungstemperatur, welche zusammen die empfundene Temperatur ergeben.¹⁷⁹ Um dieses Behaglichkeitsspektrum zu erreichen, wird unter hohem Energieaufwand, das Gebäudeklima mittels Klimaanlage verändert. Je größer der Glasanteil der Fassade, desto höher ist dabei die benötigte Energie.

Auch die Reinigungskosten sind in der Regel für Hochhäuser mit einem Aufschlag gegenüber regulären Stadthäusern anzunehmen, da z.B. Fensterflächen über das Wohnungsinnere unzugänglich sind und diese deshalb kostspielig durch Reinigungsfirmen gereinigt werden müssen.

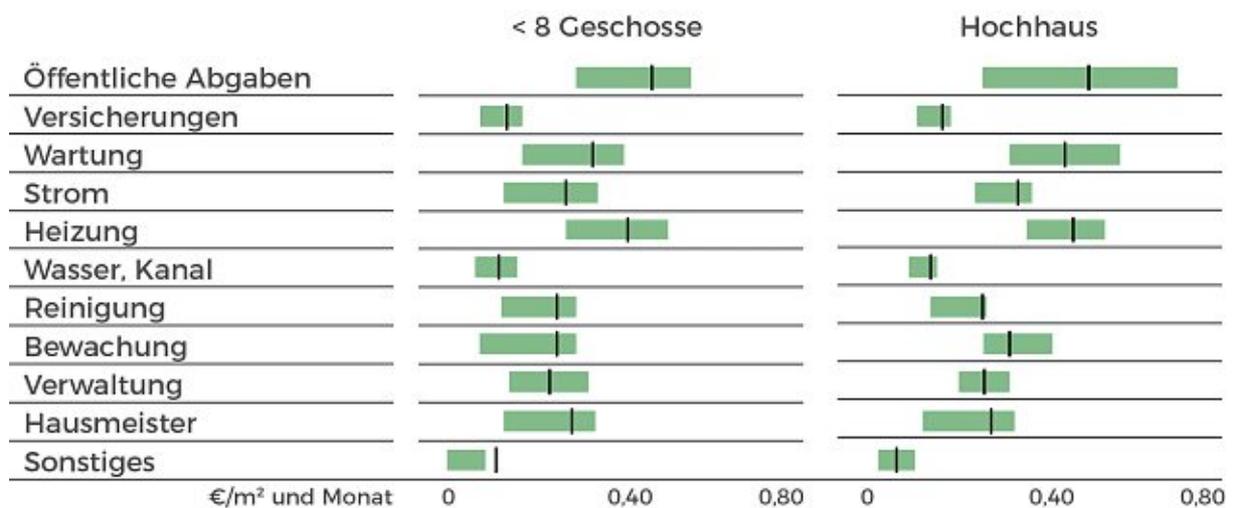


Abb. 32 Nutzungskosten von Gebäuden nach König

Die oben liegende Grafik beschreibt die preislichen Unterschiede der laufenden Kosten von Gebäuden. Während die Horizontalbalken die mittlere 50%-Quantile indizieren, werden durch die Vertikalbalken der Mittelwert der monatlichen Nettokosten der Nettogrundflächen beschrieben.¹⁸⁰ Bezeichnend ist, dass sämtliche Nutzungskosten des Hochhauses sowohl im Median als auch im Mittel (Ausnahme hierbei bilden die medianen Verwaltungskosten) die des normalen Stadthauses überschreiten.

¹⁷⁹ Vgl. Eisele, Kloft 2002, S. 183

¹⁸⁰ Vgl. König 2009, S. 69

Neben der Bauweise, Ausführung und Nutzung bildet auch das eingesetzte Material einen entscheidenden Wirtschaftlichkeitsparameter. Im nachfolgenden Kapitel wird deshalb auf Preise, Chancen und Potenziale des Rohstoffs Holz eingegangen.

5.2 BAUEN MIT HOLZ

5.2.1 ROHSTOFFPREISE

Auf dem österreichischen Markt bieten etwa 150.000 Waldbesitzer ihr Rundholz an. Durch den bestehenden Wettbewerbsmarkt bestimmen in der Regel Angebot und Nachfrage den Marktpreis. Eine Ausnahme bilden die Bundesforste, die durch große Anteile an Waldflächen die Preisbildung der Region gestalten können. Rundhölzer fallen in unterschiedlichen Qualitäten an, weshalb nicht jedes für die Bauindustrie relevant ist. In der Theorie ist das gesamte Holzaufkommen zur Energieerzeugung geeignet, jedoch wird in der Norm nur Holz verwendet, das weder für die Säge-, Zellstoff- oder Plattenindustrie geeignet ist.¹⁸¹ Sägerundholz ab einem Mittendurchmesser von 20cm wird zu Schnittholz (Pfosten, Bretter, Staffeln, Latten, Schwellen, Kanthölzer) verarbeitet. Darunter entsteht ein Konkurrenzkampf zwischen der Säge- Platten und Zellstoffindustrie.

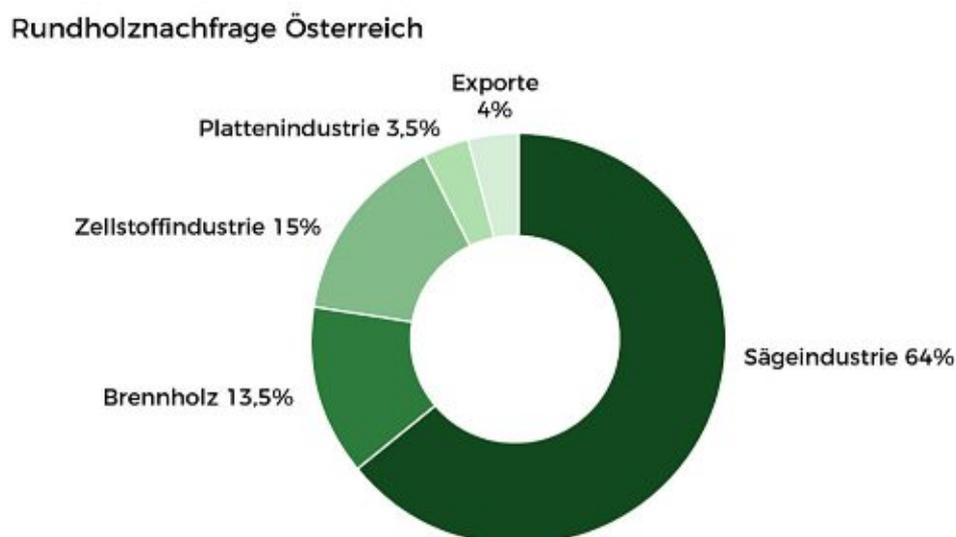


Abb. 33 Rundholznachfrage Österreich

¹⁸¹ Vgl. Puwein 2008, S. 473, 474

Langfristig betrachtet steigen in Österreich sowohl die Holzeinschlagsmenge als auch der Verbrauch. Kurzfristig jedoch kommt es immer wieder zu Nachfrageschwankungen. Beeinflusst wird der Rohstoffpreis vor allem durch die Baukonjunktur und die Energiegewinnung. Wie man in „Abb. 33 Rundholznachfrage Österreich“ erkennen kann, machen diese einen Großteil der hiesigen Holzverarbeitung aus. Einer der Nachteile des nachwachsenden Rohstoffes ist seine Witterungsabhängigkeit und Schädlingsanfälligkeit. Durch Sturmschäden und Schädlinge müssen große Mengen Schadhölzer aufgearbeitet werden. Im Jahr 2007/2008 fielen durchschnittlich 12 Mio. Festmeter Schadh Holz an. Verglichen mit Statistiken der letzten zwei Jahrzehnte fiel auf dieses Jahr die dreifache Menge an Schadh Holz. Aufgrund des dadurch zusätzlichen Holzangebotes wird das Preisniveau in der Regel gesenkt.

Holzgewinnung in Österreich

In Millionen Festmeter (2017: 17,7 Mio. fm,
davon 11,2 Mio. Rundholz, 6,5 Mio. fm Schadh Holz)

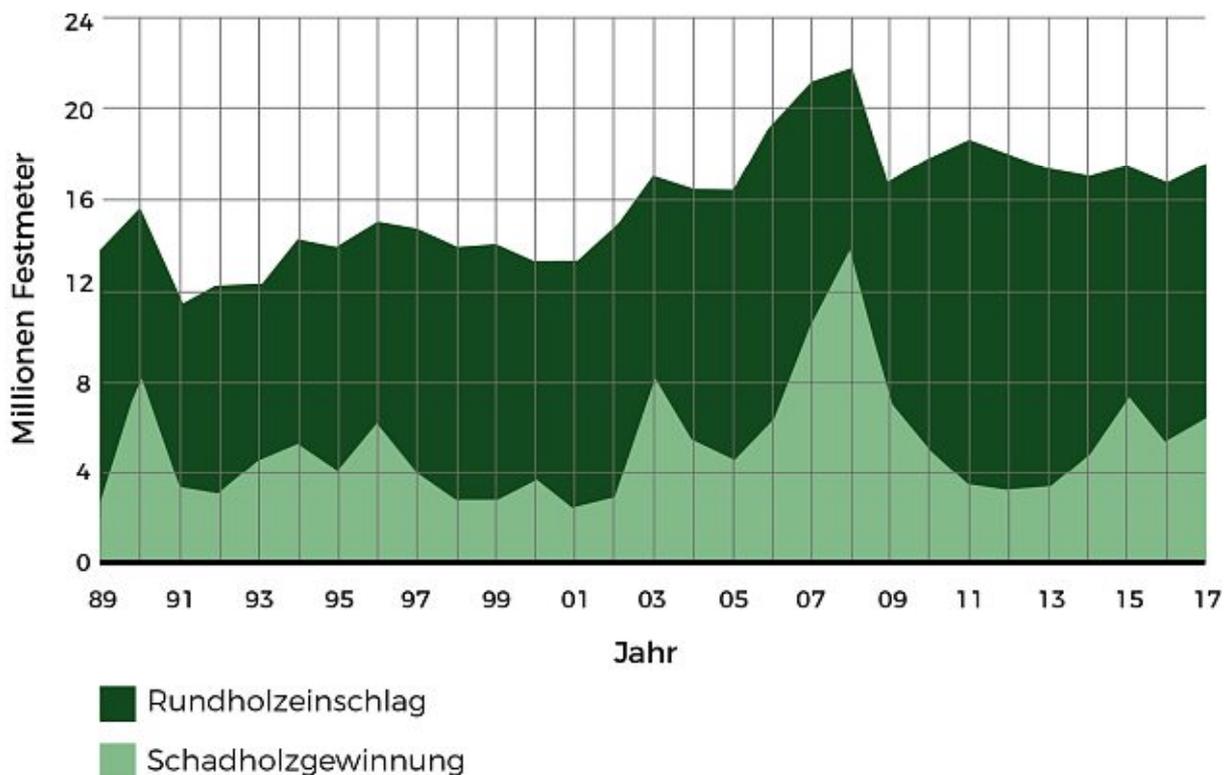


Abb. 34 Holzgewinnung Österreich

Angetrieben durch die Nullzinspolitik der EZB stieg die Baukonjunktur weiter an, was die Holznachfrage aktuell weiter steigert. Zusätzlich zur inländischen

Nachfrage ist auch die Exportnachfrage überdurchschnittlich stark gewachsen. Trotz der sehr starken Nachfrage fällt der Holzpreis kurzfristig immer wieder, da es oft dennoch zu einer Überversorgung kommt. Im Jahr 2018 war dieser Punkt bereits ab Jahresmitte erreicht, woraufhin der Einschlag wieder gedrosselt werden musste, um den Preisverfall von rund 3% von Jänner bis September wieder zu drosseln.¹⁸²

Holzpreise und Holzeinschlag

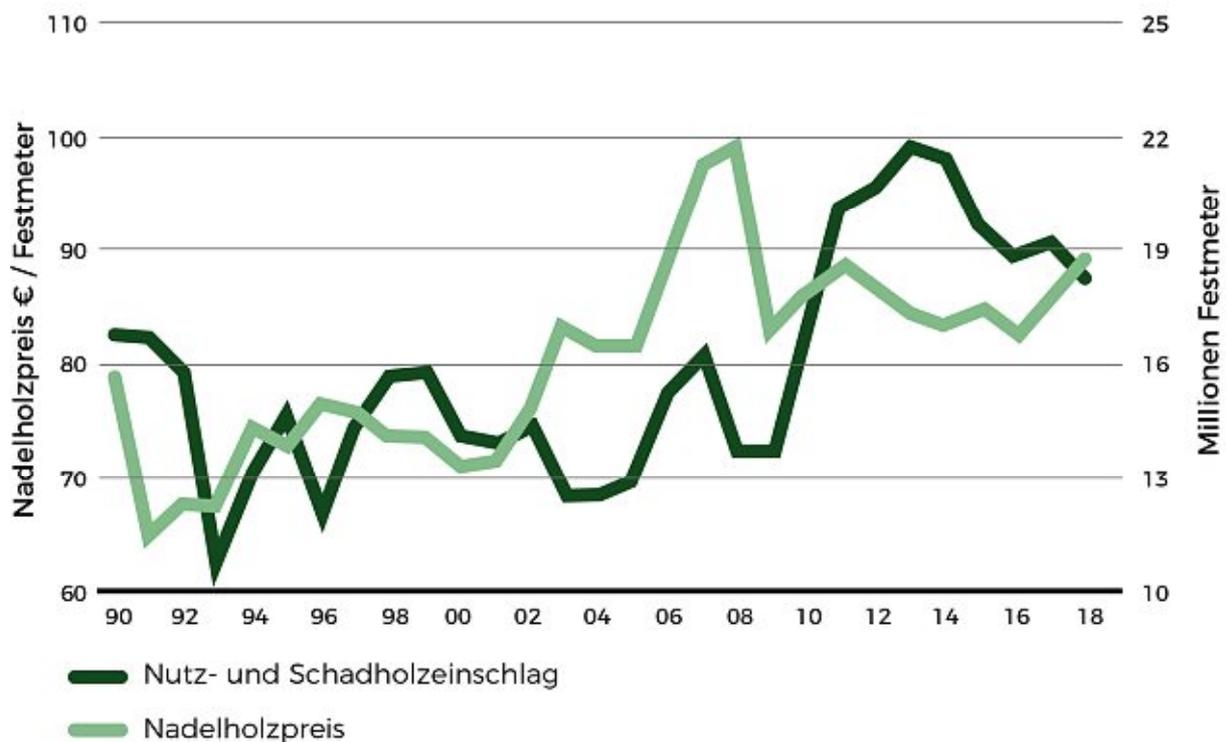


Abb. 35 Holzpreise und Holzeinschlag

5.2.2 EIN PREISVERGLEICH

Im direkten Preisvergleich hat die gewöhnliche Bauweise mit Stahlbeton zum jetzigen Zeitpunkt sehr oft die Nase vorn. Es gibt jedoch zahlreiche Gründe sich dennoch für den Holzbau zu entscheiden.

An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass es nur sehr schwer ist im Zuge eines Preisvergleiches, konkrete Zahlen zu nennen, jedoch gibt es theoretische Gegenüberstellungen (Holz und Stahlbeton), die zumindest einen wirtschaftlichen Anhaltspunkt liefern.

¹⁸² Vgl. Wolf 2018, S. 6, 7

Um eine aussagekräftige Antwort über die Wirtschaftlichkeit geben zu können, müssen die Gebäudekosten sowohl in Holzbau- als auch konventioneller Stahlbetonbauweise gegenübergestellt werden.

5.2.2.1 FORSCHUNGSPROJEKT 8+

Im Zuge des Forschungsprojektes 8+ wurden diese kalkulatorisch anhand nachfolgender Eingangswerte ermittelt:

- 17 Geschosse
- Geschossfläche: 750 m²
- Geschosshöhe: 3,25 m

Vergleich Rohbaukosten in Mio. €

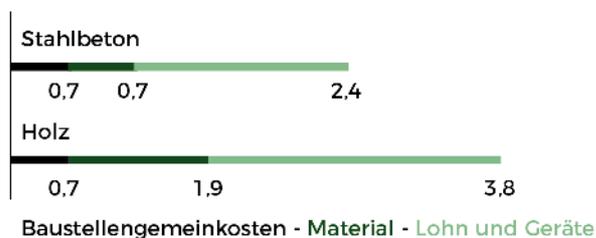


Abb. 36 Rohbaukostenvergleich

Aus der Kalkulation geht hervor, dass für die primäre Konstruktion in Holzbauweise mit rund 70% höheren Kosten zu rechnen ist, als mit der gleichen in Stahlbetonbauweise.¹⁸³

Vergleich Errichtungskosten in Mio. €

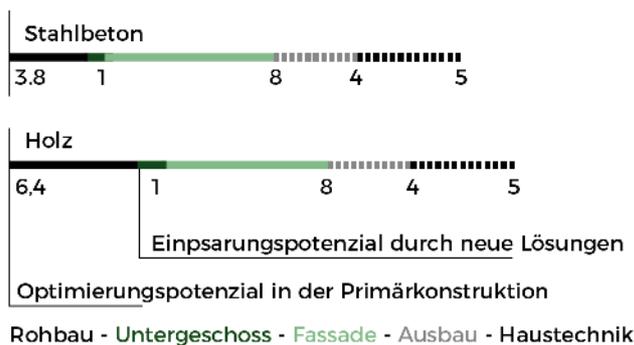


Abb. 37 Errichtungskostenvergleich

¹⁸³ Vgl. Zangerl, Forster 2008, S. 14

Wird nun jedoch der Schlüsselfertigpreis desselben Projektes verglichen, so senkt sich demnach die Kostendifferenz auf 12%. Für den Holzbau gibt es noch weitere Optimierungspotenziale, die die Differenz weiter senken können. Die Potenziale liegen dabei in folgenden Bereichen:

- sichtbare Konstruktion als Fassadenelemente
- geringes Konstruktionsgewicht bedeutet geringere Fundamentkosten
- durch Verzicht auf abgehängte Decken können Bauvolumen und Fassadenfläche gespart werden
- Konstruktion stark auf Sicherheit bemessen, was Optimierungspotenziale der Querschnitte zur Folge hat
- kurze Bauzeiten ermöglichen schnellere Kapitalrückflüsse durch Mieterträge, wodurch Zinseffekte erzielt werden
- durch einen starken Preisanstieg für Stahl und Energie sind steigende Preise für Stahlbetonelemente zu erwarten

Zur wirtschaftlichen Gleichstellung der beiden Konstruktionsvarianten sind also Lösungen in den oben genannten Bereichen zu erforschen und weitere Potenziale in der Primärkonstruktion zu entwickeln.¹⁸⁴ Weiters wurde auch in Nordamerika eine ähnliche Studie erstellt.

5.2.2.2 STUDIE: "THE CASE FOR TALL WOOD BUILDINGS"

Der Kern dieser Studie beinhaltet den Vergleich von 12- bzw. 20-geschossigen Holzrahmenkonstruktionen mit einem identen Gebäude in Betonbauweise. In der Studie werden von Brandschutz, der Schallperformance bis hin zur Wirtschaftlichkeit sämtliche Aspekte beleuchtet. Im Zuge dieser Arbeit wird das Augenmerk speziell auf die Wirtschaftlichkeit gelegt.

In dieser Studie wurden die beiden verschiedenen Holzkonstruktionen auf jeweils zwei verschiedene Arten berechnet. Zum einen wurde eine Konstruktion angenommen, die so überdimensioniert ist, dass sie im Fall eines Brandes durch die Verkohlung („charring“) der äußersten Schicht genügend Brandwiderstand erzeugt, um dem rechtlichen Rahmen zu entsprechen. Zum anderen wird der Brandwiderstand durch die Verkleidung

¹⁸⁴ Vgl. Zangerl, Forster 2008, S. 14

der tragenden Holzbauteile mit brandhemmenden Materialien („encapsulation“) erzielt.¹⁸⁵

Das Betongebäude ist in Stahlbetonrahmenbauweise konzipiert. Dabei besteht das System aus Stahlbetonstützen und Trägern mit darauf liegenden Stahlbetondecken. Die Fassade ist mit 70% Verglasung projektiert. Die innenliegenden Trennwände sind in Trockenbauweise angedacht. Der Gebäudekern mit Lift und Stiegenhaus besteht aus massiven Stahlbetonwänden.

Das Vergleichsobjekt aus Holz ist in Holzmassivbauweise projektiert. Die Decken bestehen aus tragenden Massivholzplatten in Kombination mit nichttragendem Estrich. Die Tragenden Wände und Stützen variieren je nach Ausführungsform (überdimensioniert, verkleidet):

- Massivholz Wände (KLH) und BSH Träger und Stützen
- Massivholz Wände (KLH) mit brandverkleideten BSH Stützen und Trägern

Beide Gebäude sind inklusive Elektrik, Heizung und Lüftung. Die Oberflächen des Gebäudes sind als durchschnittlich angenommen.¹⁸⁶ Im Preis exkludiert sind jedoch:

- Grundstückskosten
- Rechtsberatung
- Abbruchkosten
- unvorhersehbare Kontaminationen des Baugrundes
- Unregelmäßigkeiten des Marktes
- Bauphasen und eventuell verkürzte Bauzeiten

Die im Rahmen dieser Studie angenommenen Preise sind zum Stichtag als konkurrenzfähige Marktpreise bezeichnet.¹⁸⁷

¹⁸⁵ Vgl. Green 2012, S.176

¹⁸⁶ Vgl. ebenda, S. 177

¹⁸⁷ Vgl. ebenda, S. 178

	12 Geschosse Beton	12 Geschosse Holz überd.	12 Geschosse Holz verkl.	20 Geschosse Beton	20 Geschosse Holz überd.	20 Geschosse Holz verkl.
Vancouver	17.550.800 \$	17.518.000 \$	17.856.200 \$	30.097.000 \$	30.297.100 \$	30.989.900 \$
\$/sf	283 \$	283 \$	288 \$	292 \$	294 \$	300 \$
Nord BC	19.832.404 \$	19.269.800 \$	19.641.820 \$	34.010.627 \$	33.326.810 \$	34.088.890 \$
\$/sf	320 \$	311 \$	317 \$	330 \$	323 \$	330 \$
Inneres BC	18.779.356 \$	18.393.900 \$	18.749.010 \$	32.204.753 \$	31.811.955 \$	32.539.395 \$
\$/sf	303 \$	297 \$	288 \$	292 \$	308 \$	315 \$
Fraser	17.550.800 \$	17.518.000 \$	17.856.200 \$	30.097.900 \$	30.297.100 \$	30.989.900 \$
\$/sf	283 \$	283 \$	288 \$	292 \$	294 \$	300 \$
Vancouver Insel	18.691.602 \$	18.393.900	18.749.010 \$	32.054.264 \$	31.811.955 \$	32.539.395 \$
\$/sf	302 \$	297 \$	303 \$	311 \$	308 \$	315 \$

Tab. 8 Preisvergleich der Projektvarianten¹⁸⁸

Im Unterschied zu der österreichischen Studie ergeben sich in dieser Studie durchaus positive Werte für den Holzbau. Dabei schneidet er in einigen Ausführungsvarianten und Regionen sogar günstiger ab, als die Betonbauweise. Die Ergebnisse beider Studien sollten jedoch mit Vorsicht betrachtet werden, da es sich hier lediglich um Schätzungen handelt und jeweils durch Institutionen, in Auftrag gegeben wurden, welche den Holzbau fördern.¹⁸⁹

Ein Punkt, der in der kanadischen Studie nicht berücksichtigt wurde, aber in Zukunft möglicherweise großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines Holzbauprojektes haben könnte ist der Zeitfaktor. Dieser kann durch die immer weiter fortschreitende Standardisierung und Automatisierung des Bausektors gesteigert werden. Vor allem der Holzbau eignet sich durch seine leichte Bearbeitbarkeit ideal für die industrielle Vorfertigung.¹⁹⁰

¹⁸⁸ Anmerkung: 1\$/sf entspricht zum Stichtag (11.09.2019) 16,11€/m².

¹⁸⁹ Anmerkung: proHolz, Canadian Wood Council

¹⁹⁰ Vgl. ARUP 2019, S. 42

5.3 VORFERTIGUNG

Vorgefertigte Gebäude bestehen aus Bauteilen, die in Fabriken produziert, von dort aus auf die Baustelle geliefert und schließlich dort versetzt werden. Trotz der langsam voranschreitenden Adaption des Bausektors stellt die Vorfertigung eine der nachhaltigsten und disruptivsten Technologien der Branche dar. Durch seine Eigenschaften eignet sich das Holz ideal für die Bearbeitung durch CNC-Fräsen, denen der Vorfertigungsprozess zu Grunde liegt.¹⁹¹

5.3.1 VORTEILE

Die Vorteile, die durch die Vorfertigung entstehen sind eindeutig:

- Verkürzte Bauzeiten
- Bessere Qualität (maschinell Millimeter genau angefertigt)
- Geringere Abfälle
- Geringere Stückpreise

Weiters können auch die Reduktion von Baulärm, verbesserte Gesundheitsbedingungen und Kontinuität der Erwerbsfähigkeit¹⁹², sowie die vorhersehbare Produktqualität zu den Stärken der Vorfertigung gezählt werden. Trotzdem ist der Schritt in diese Richtung erstaunlich langsam. Hohe Investitionskosten in neue Fabriken stellen wahrscheinlich die größte Hürde dar.¹⁹³

5.3.2 ANSPRÜCHE

Um den Ansprüchen der modernen Bauwirtschaft gerecht zu werden müssen im Wesentlichen zwei Punkte erfüllt sein. Das gewünschte Volumen muss in der exakt richtigen Qualität und zu einem konkurrenzfähigen Preis angeboten werden. Um dies zu erreichen muss von der Vorfertigung als

¹⁹¹ Vgl. ARUP 2019, S. 42

¹⁹² *Anmerkung: Da der Körper durch die Werkseitige maschinelle Fertigung nicht so stark belastet wird*

¹⁹³ Vgl. ebenda, S. 43

schlichte Elementfertigung abgerückt werden. Vielmehr sollte die Entwicklung eines ganzheitlichen Systems angestrebt werden.¹⁹⁴

5.3.3 BAUZEIT

Im direkten Preisvergleich schneidet Beton, wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben, zurzeit in den meisten Märkten besser ab als der Holzbau. Dennoch kann es ökonomisch gesehen viele andere Gründe geben, die für einen vorgefertigten Holzbau sprechen. Vor allem die Verkürzung der Bauzeit kann oft den entscheidenden Ausschlag dafür geben, ein Projekt in Holzbauweise auszuführen. Die verkürzte Bauzeit ist einerseits auf die geringe Masse der Bauteile zurückzuführen, wodurch größere Bauteile unter weniger Anhebungen an die gewünschte Stelle gebracht werden können. Weniger und stärkere Verbindungen und eine präzise, sequenzierte Anlieferung der Bauteile ermöglichen die besagte Verkürzung der Bauzeit gegenüber Bauweisen mit Beton und Ziegeln. Dies bedeutet einerseits Ersparnisefekte in der Projektfinanzierung durch verkürzte Laufzeiten, andererseits wird durch eine frühere Verwertung (vgl. mit Massivbauweise) eingesetztes Eigenkapital schneller frei. Auch für den Fall, dass die Immobilie gehalten wird, wirkt sich die Vorfertigung positiv aus, denn durch die verkürzte Bauzeit kann zu einem früheren Zeitpunkt mit Einnahmen aus Vermietung und Verpachtung gerechnet werden.¹⁹⁵

Der Holzbau kann aber nicht nur durch harte, wirtschaftliche Faktoren wie Geld und Zeit punkten. Auch die Positionierung eines Holzbauprojektes am Markt kann entscheidende Vorteile mit sich bringen.

5.4 MARKTPositionIERUNG

Neben den bereits erwähnten Vor- und Nachteilen, die der Holzbau mit sich bringt, kann eine gezielte Positionierung am Markt den Unterschied zwischen rentablen und unrentablen Projekten ausmachen.

Besonders in Regionen mit hohen Grundstückspreisen, kann daraus ein Vorteil entstehen, da dort in der Regel die Preissensitivität von potenziellen

¹⁹⁴ Vgl. ARUP 2019, S. 47

¹⁹⁵ Vgl. ebenda, S. 48-50

Käufern geringer ist, als bei Käufern von günstigen Grundstücken. Dies gilt insbesondere für urbane Zentren wo vor allem erzielbare Miet- und Grundstückspreise in den Fokus rücken und die Errichtungskosten eine eher geringe Rolle spielen. Auch hier, gerade im Fall der frühzeitigen Mieterzielung spielt die Bauzeit eine entscheidende Rolle.

Die verkürzten Bauzeiten spielen zudem im Zusammenhang mit besonderen Situationen (z.B. Flüchtlingswellen, Großereignisse), wo schnell Raum benötigt wird, aber auch aus klimatischen Gründen (z.B. Regenzeiten) eine entscheidende Rolle.

Durch die ökologischen Eigenschaften des Holzes können vor allem Personen mit ausgeprägtem Umweltbewusstsein zur Zielgruppe gezählt werden. So können Firmen über ihre Bürohäuser ein nachhaltiges Firmenimage vermitteln. Für Privatpersonen zählen hingegen die traditionellen Werte, die mit dem Holz in Verbindung gebracht werden.¹⁹⁶

Es ist daher äußerst entscheidend den Markt und seine Zielgruppe zu kennen. Besonders in der Bauprojektentwicklung müssen der Markt und seine Potenziale korrekt abgeschätzt werden.

5.5 RESSOURCENWIRTSCHAFT

Neben den bereits genannten wirtschaftlichen Faktoren stellt auch die Ressourcenwirtschaft einen wichtigen Aspekt der Bauindustrie dar. Auch wenn sprichwörtlich wohl kaum ein Rohstoff so umfassend vorhanden ist wie Sand und Kies, kommen auch diese Ressourcenvorräte, in Anbetracht des jährlichen Verbrauchs der Baubranche irgendwann an ihre Grenzen.

Im Sinne eines nachhaltigen und ressourcenschonenden Bauwerks, sollte außerdem der Rückbau eines Gebäudes mitkonzipiert werden. Dieses Rückbaukonzept sollte bereits möglichst früh in die Planungsphase integriert werden, Man unterscheidet dafür nach Maß der Nachhaltigkeit:

Wiederverwendung

¹⁹⁶ Vgl. Zangerl, Forster 2008, S. 14

Bauteile können nach dem Rückbau an einem anderen Ort wieder eingesetzt werden. Dadurch entfällt die Vernichtung, Zerlegung oder eine notwendige Beseitigung. Diese ist die ressourcenschonendste Alternative.

Recycling

Bauteile werden zerlegt und für andere Zwecke aufbereitet. Dabei spielen drei Faktoren eine Rolle:

- **Homogenität:** Je weniger verschiedene Materialien in einem Gebäude verbaut wurden, desto weniger Entsorgungs- bzw. Aufbereitungswege sind notwendig
- **Trennbarkeit:** Je leichter sich die verwendeten Materialien und Verbindungen voneinander trennen lassen, desto eher ist eine sortenreine Trennung möglich. Je größer die Sortenreinheit, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer wirtschaftlichen Recyclingung.
- **Schadstofffreiheit:** Werden schadstofffreie, recycelbare Baustoffe gewählt, wird der Materialkreislauf verlängert und die Ressourcen können wirtschaftlich optimiert genutzt werden. Dabei gilt, je hochwertiger die verbauten Bauelemente recycelt werden können, desto recyclingfreundlicher das Bauprodukt.

Energetische Verwertung und Verfüllung

Brennbare Reststoffe und Abfälle, die nicht wirtschaftlich recycelbar sind werden zur Energieerzeugung durch Verbrennung oder durch Aufbereitung zu Füllmaterial verwendet.

Entsorgung als Sondermüll

Für schadstoffbelastete Baustoffe.¹⁹⁷

¹⁹⁷ Vgl. <https://www.baunetzwissen.de/>

6 FORSCHUNGSMETHODIK

6.1 REKAPITULATION

Wie damals die Erfindung einer sicheren Aufzugsanlage durch *Elisha Otis* zur Etablierung des heutigen Hochhauses geführt hat, gibt es auch bei der Entwicklung des Holzhochhauses einen bzw. mehrere mögliche Steine des Anstoßes.

Als größter Treiber dieser Entwicklung kann das stetige Bevölkerungswachstum auf der Erde betrachtet werden. Darauf sind schlussendlich beinahe alle Umstände, die ein Umdenken in der Immobilienindustrie zugunsten von Holzhochhäusern bewirken, zurückzuführen.

Die stattfindende Landflucht führt dazu, dass der bereits knappe städtische Raum noch mehr verknappt. Die Folgen sind enorme Preissteigerungen im Grundstücksmarkt der städtischen Zentren bei gleichzeitigem Preisverfall in ruralen von Landflucht betroffenen Gebieten. Dieser Trend lässt sich beinahe überall auf der Welt beobachten. Die rasant steigende städtische Bevölkerung beansprucht dabei immer mehr Raum zum Wohnen, Arbeiten, Erholen und einen verstärkten Ausbau der Infrastruktur bei gleichbleibender bzw. besserer Qualität. Um der Nachfrage gerecht zu werden, hat eine Stadt zwei Möglichkeiten: Einerseits die flache Erweiterung der Stadt in die Peripherie und andererseits die Verdichtung des bereits gegebenen innerstädtischen Raumes durch Nachverdichtung und Umwidmung von Bauland für Hochhausprojekte.

Die Vorteile der zweiten Variante liegen auf der Hand. Es können hochwertige Räume geschaffen werden, ohne dass sich die Wege in das Zentrum erhöhen. Die bereits vorhandene Infrastruktur (U-Bahnen, Straßenbahnen, Krankenhäuser, Kanalisation, usw.) kann mitgenutzt werden, sofern nicht durch die erhöhte Dichte der Projekte eine Überlastung droht.

Das Augenmerk liegt in dieser Arbeit insbesondere auf der Errichtung von Holzhochhäusern. Durch diese können in den Stadtzentren enorme

städtebauliche Dichten erreicht werden, die ein Ausweiten des Stadtgebietes eindämmen. Wie bereits beschrieben trägt der Gebäudesektor einen wesentlichen Teil zum jährlichen Ausstoß von Treibhausgasen und Ressourcenverbrauch bei. Die Treibhausgasemissionen des Sektors können größtenteils auf zwei Phasen im Lebenszyklus eines Gebäudes zurückgeführt werden:

- die Gebäudeherstellung.
- der Gebäudebetrieb.

Es sollte bei der Herstellung von Gebäuden deshalb insbesondere darauf geachtet werden, dass der Ausstoß an Treibhausgasen sowohl bei der reinen Produktion eines Immobilienprojektes als auch bei dem darauffolgenden Lebenszyklus bis hin zum Abtragen und Recyclen des Gebäudes möglichst gering bleibt.

Der Baustoff Holz als nachwachsender Rohstoff und Kohlenstoffsenke trifft dabei den aktuellen Zeitgeist. Kaum ein Thema wird so viel diskutiert wie der Klimawandel. Der Baustoff Holz ist dabei keineswegs eine Neuentdeckung – dieses kommt bereits seit jeher als potentes Baumaterial zum Einsatz. Allerdings ist die Idee, Holz auch im Hochhausbau zu verwenden, erst mit Anfang des 21. Jahrhunderts zur gebauten Realität geworden.

Die Entwicklung von Holzhochhäusern steckt dabei noch in den Kinderschuhen. Die ersten Gehversuche wurden mit dem LCT1 (Life Cycle Tower ONE) in Dornbirn im Jahr 2011 unternommen. Seit damals gibt es einen globalen Trend stetig größere Holzbauprojekte zu realisieren. Diese Entwicklung kann in der anschließenden Grafik beispielhaft nachverfolgt werden.

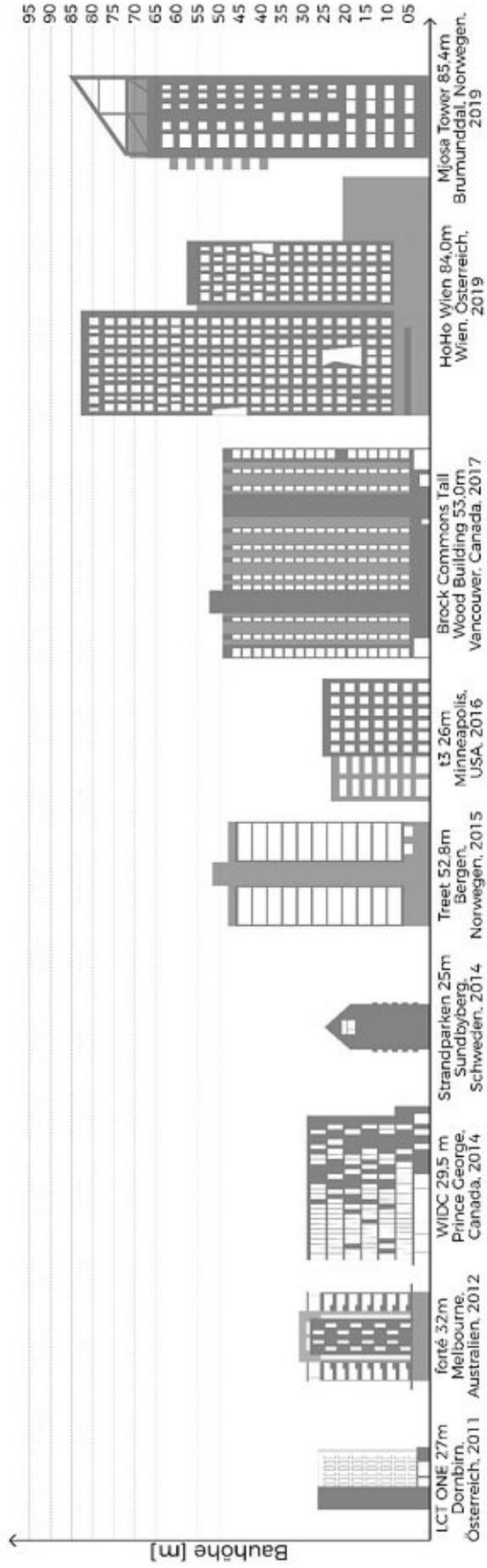


Abb. 38 exemplarische Holzhochhausprojekte im Vergleich

Die zahlreichen Vorteile, die mit der Entwicklung eines Hochhauses aus Holz einhergehen wurden in den vorhergehenden Kapiteln bereits ausführlich beschrieben. Die nachfolgende Aufzählung fasst jedoch die wichtigsten noch einmal zusammen:

- Erhöhte Dichte im stark nachgefragten Raum
- Geringer Fußabdruck und damit geringe Bodenversiegelung und mehr Platz für öffentliche Flächen oder andere verdichtete Bauwerke
- Reduktion des CO₂ Ausstoßes im Gebäudesektor
- Funktion als Kohlenstoffsенke im urbanen Raum
- Nachwachsender Rohstoff
 - Oft hohe regionale Verfügbarkeit (kurze Transportwege, Stärkung der regionalen Wirtschaft)
- Hohe Recyclbarkeit
- Geringe Masse des Baustoffes
- Ermöglicht hohes Maß an Vorfertigung
 - Verkürzung der Bauzeit
 - Schafft verbesserte Arbeitsbedingungen¹⁹⁸
 - Ermöglicht die Integration neuwertiger Technologien & Systeme
 - Geringere Wetterabhängigkeit bei Montagen
 - Potenzial für niedrigere Preise

Es darf dabei aber nicht unerwähnt bleiben, dass es im Holzhochhausbau auch einige wesentliche Hürden gibt, die zum einen auf materialbedingte Eigenschaften und zum anderen auf regulative Bestimmungen von Gesetzgebern, sowie auf den Widerstand und Ängste der Bevölkerung zurückzuführen sind:

- Holz erfordert erhöhten Schutz gegen Feuchte und Schädlinge
- erhöhter Aufwand zum Erreichen geforderter Schallschutzwerte
- statische Nachteile aufgrund der Materialbeschaffenheit
- starke Regulierung im Brandschutz
 - führt zu erhöhtem Aufwand und Kosten
- Holz als brennbares Material befeuert Ängste in der Bevölkerung

¹⁹⁸ *Durch Verlagerung des Arbeitsplatzes von der Baustelle in Fertigungshallen*

- Hochhäuser stoßen auf Widerstand in der Bevölkerung

Diese sollen anhand der nachfolgend beschriebenen Forschungsmethode auf Basis von vier realisierten Projekten geprüft und untersucht werden.

6.2 AUFBAU DER STUDIE

Die Umsetzung jedes Bauvorhabens stellt einen hochkomplexen Prozess dar. Dabei ist jedes Bauprojekt als Unikat zu betrachten. Vor allem im Holzhochhausbau fehlt es bei vielen Marktteilnehmern an der notwendigen Erfahrung. Auch die dringend nötigen Ressourcen und Nachschlagwerke sind rar und untereinander kaum vergleichbar. Durch die Erstellung eines standardisierten Kriterienkatalogs werden nachfolgend einzelne Leuchtturmprojekte anhand ihrer Konstruktionsweise, Baumethoden, Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit, Umgang mit gesetzlichen Gegebenheiten und materialbedingter Stärken und Schwächen vergleichbar gemacht.

Der Aufbau der Einzelstudien wird im nachfolgenden Kapitel eingehend beschrieben. Diese bilden die Grundlage zur Beantwortung der Forschungsfrage.

6.2.1 EINZELSTUDIEN

Die Basis für die Studien bildet der umfassende theoretische Teil von Kapitel 1 bis 5. Alle aus der Theorie gewonnen Erkenntnisse werden in drei Themenblöcke zusammengeführt.

Das Fundament jedes Projektes bildet die konstruktive Standfestigkeit des Gebäudes. Dieser ist als fixer Bestandteil eines Bauvorhabens zu werten. Hiervon darf nicht abgewichen werden. Des Weiteren wird der Rahmen durch die gesetzlichen Gegebenheiten des jeweiligen Bauplatzes definiert, auch hier muss der gültigen Fassung der jeweiligen Gesetze entsprochen werden. Es wurden drei weitere Themenbereiche definiert, die eine Beurteilung der untersuchten Holzhochhäuser ermöglichen:

1. Technische Faktoren
2. Wirtschaftliche Faktoren
3. Hybride Faktoren (sind keinem Teilbereich eindeutig zuzuordnen)

Diese Faktoren werden in einem Bewertungssystem zusammengeführt. Anhand dessen wird sodann jedes Holzhochhaus einzeln und standardisiert untersucht, um als vereinheitlichte Informationsquelle zu dienen und Erkenntnisse für die zukünftige Entwicklung eines geplanten Holzhochhausbaus abzuleiten.

Um die Effizienz, Nachhaltigkeit und Qualität der Maßnahmen und Gestaltung zu standardisieren und zu verdeutlichen werden die einzelnen Objekte bzw. Projekte über einen Kriterienkatalog verglichen. Die Bewertung geht aus den jeweiligen Teilkategorien hervor. Die Gewichtung der einzelnen Themenbereiche erfolgt nach Maßgabe der Wichtigkeit hinsichtlich der definierten Parameter. Dabei folgt die Beurteilung einem strikten Schema, welches die Basis für den erarbeiteten Bewertungskatalog bildet (dieses Schema wird für jeden Teilbereich wiederholt):

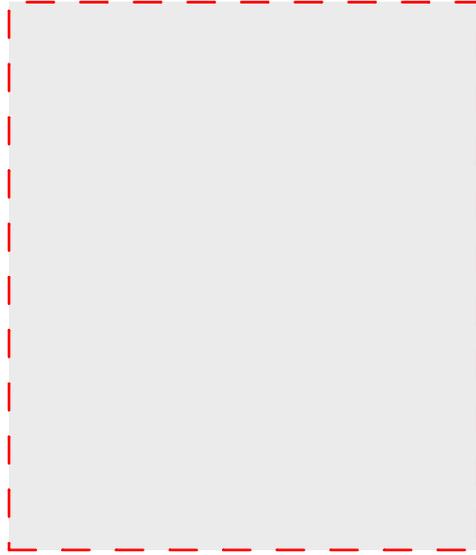
- I. Beschreibung der Problemstellung / des Teilbereichs
- II. Punktegradient (in Ampelfarben)
- III. Verbale und grafische Erläuterung der Gebäudeperformance

Nach Abschluss der Studien und der Beurteilung aller ausgewählten Objekte folgt im Kapitel „Erkenntnisse und Perspektive“ eine Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse sowie ein Ausblick, wie die zukünftige Entwicklung des Holzhochhausbaus eingeschätzt werden kann und welche Chancen für den Holzhochhausbau abgeleitet werden können und somit die Beantwortung der Forschungsfrage.

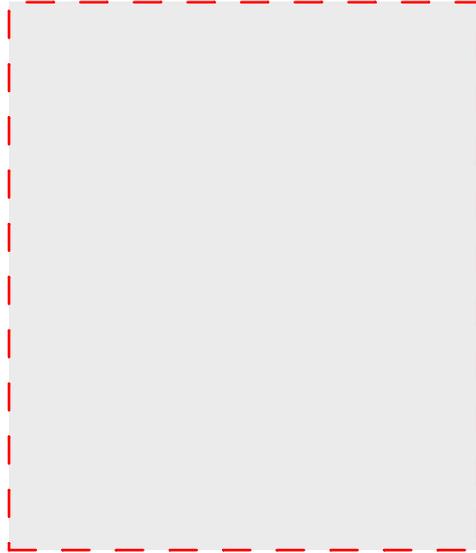
6.2.2 LEITFADEN KRITERIENKATALOG

Die Evaluierung der Objekte bzw. der Projekte erfolgt nach dem vorab definierten Kriterienkatalog, welcher in diesem Kapitel vorgestellt wird.

Der Kriterienkatalog teilt sich in die drei bereits beschriebenen Faktoren, welche wiederum in 15 Detailkriterien in Form von Fragestellungen unterteilt werden. Nachfolgend werden der Kriterienkatalog, die Bewertungsmethodik und der Bewertungsablauf mittels des eigens erstellten Leitfadens vorgestellt. Nach diesem Leitfaden werden sämtliche Holzhochhausprojekte analysiert und vergleichbar gemacht.



LEITFADEN ZUR VERWENDUNG DES ANALYSETOOLS



HOLZHOCHHAUS NAME - ORT
TALL WOOD SCORE

Erläuterung und Lesbarkeit des Leitfadens

Erläuterung

Auf dieser Seite lernen Sie, wie der Leitfaden zur Verwendung des Analysetools aufgebaut ist. Das Analysetool des „Tall Wood Scores“ kann in drei Bestandteile unterteilt werden:

1. Objektbeschreibung
2. Detailbereich
3. Ergebnis

Auf die jeweiligen Bestandteile wird im Laufe des Leitfadens einzeln und im Detail eingegangen.

Sämtliche Informationen, wie das Analysetool angewendet werden muss um zu standardisierten und vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen, werden auf den kommenden Seiten beschrieben.

Das Ziel ist es, die komplexen Holzhochhausprojekte möglichst vereinfacht darzustellen, sie untereinander vergleichbar zu machen, sowie ihre Qualitäten, Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken abzubilden und gewonnene Erkenntnisse für diesen neu entstehenden Gebäudetypus abzubilden.

Die Bewertung der Projekte erfolgt über 15 Detailkategorien, welche sich in drei Überkategorien einteilen. Mehr dazu finden Sie im Bereich „Detailkategorien“ des Leitfadens.

Lesbarkeit

Um die Lesbarkeit des Leitfadens zu gewährleisten ist dieser farblich unterschiedlich dargestellt. Die Bereiche, die rot umrandet dargestellt sind, dienen der Erklärung zur Anwendung des Analysetools. Bildfelder die strichliert umrandet dargestellt werden, sind durch Fotos, Bilder und Darstellungen zu ersetzen.

Die Passagen und Bereiche, welche in schwarz dargestellt sind und nicht umrandet sind, sind fixer Bestandteil des Analysetools und sind in den einzelnen Analysen identisch. Dies sind beispielsweise die Detailkategorien mit den jeweiligen Überschriften, Punkten und Punktgradienten.

<p>Weltkarte / Makrolage</p>  <p>Globale Lage des Objektes</p>	
<p>Lageplan / Mikrolage</p> <p>Genauer Lageplan des Objektes</p>	<p>Landkarte / Mesolage</p> <p>Verortung des Objektes in der Region</p>

Objektdaten

Projekttitle: **NAME**

Bauort: **ORT**

Adresse: **ADRESSE**

Fertigstellung: **DATUM**

Bauherr: **BAUHERR**

Architektur: **ARCHITEKT(EN)**

Tragwerk: **TRAGWERKSPLANUNG**

Brandschutz: **BRANDSCHUTZ**

Bauunternehmen: **UNTERNEHMEN**

Nutzung: **NUTZUNGSART**

Bauweise: **BAUWEISE**

Stockwerke: **ANZAHL**

Gebäudehöhe: **HÖHE**

Nutzfläche: **FLÄCHE**

Objektbeschreibung

In diesem Bereich des Analysetools wird ein kompakter Überblick über das zu bewertende Holzhochhaus gegeben. Der Fokus liegt auf einer kurzen und punktierten Darstellung des Gebäudes.

Weiters werden in diesem Bereich des Kriterienkatalogs bereits wichtige Daten und Kennzahlen vorgestellt, die im Zuge der genauen Analyse im Detailbereich vertieft werden.

Relevante Daten, Beschreibungen, Anekdoten und Bilder dienen der Objekt- bzw. Projektvorstellung.

Dieser Bereich fokussiert sich vor allem auf der Verschaffung eines Gesamtüberblicks über das analysierte Holzhochhaus, ohne dabei in die Tiefe zu gehen. Die Artikulation ist dabei gezielt einfach und frei von jeglicher Fachterminologie (sei diese technisch, rechtlich oder wirtschaftlich) zu halten, damit auch nicht fachkundige Personen sich einen adäquaten Überblick über das zu analysierende Hochhaus verschaffen können.

Genau so, wird auch das Ergebnis am Ende der Studie möglichst simpel zum Ausdruck gebracht.

Einleitung in den Detailbereich

Der Detailbereich bildet das Herzstück der Projektanalyse, da diese die Analyse und Bewertung der Holzhochhäuser zum Ziel hat. Der Detailbereich lässt sich in drei wesentliche Themenbereiche einteilen:

- Technische Faktoren
- Wirtschaftliche Faktoren
- Hybride Faktoren

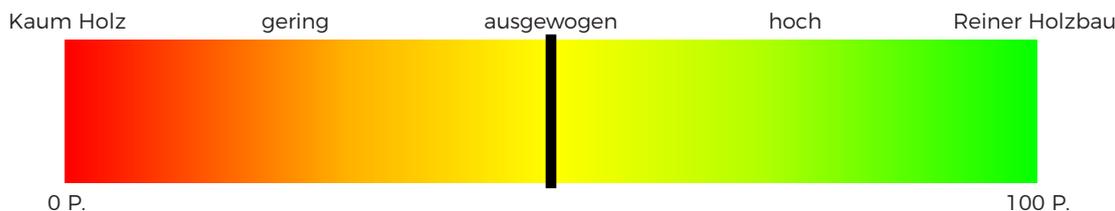
Diese Themenbereiche decken die essentiellen Bereiche zur Analyse von Holzhochhausprojekten ab. Als hybride Faktoren sind jene Faktoren zu kategorisieren, die weder den technischen Faktoren noch den wirtschaftlichen Faktoren eindeutig zugeschrieben werden können. Dies können unter anderem Faktoren der Nachhaltigkeit sein, da diese sowohl technische Einflüsse, als auch wirtschaftliche Relevanz für ein Projekt haben.

Der Detailbereich wird in 15 Kategorien unterteilt, die je nach ihrer Wichtigkeit nach Punkten gewichtet werden. In den nachfolgenden Seiten wird auf jede der 15 Kategorien eingegangen und erklärt, wie die Bewertung zu erfolgen hat, um ein nachvollziehbares, vergleichbares Ergebnis zu erzielen.

Die Punktevergabe erfolgt anhand der angeführten Matrizen, welche auch für qualitative Kriterien Punkte vorsieht. Die Qualitative-Matrix ist dabei nicht als final und starr zu betrachten, zukünftige Entwicklungen können durch den Nachweis der Gleichwertigkeit ebenfalls mit Punkten honoriert werden.

Technische Faktoren

Holzanteil:
Wie hoch ist der Holzanteil der Konstruktion des untersuchten Holzhochhauses?



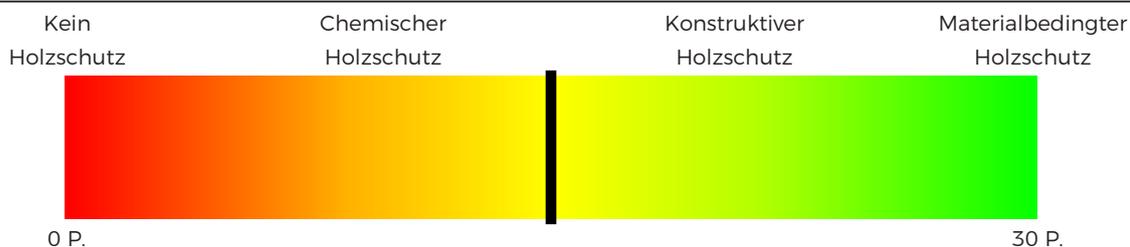
Die Punktevergabe in diesem Detailbereich erfolgt gemäß dem Holzanteil an der Tragstruktur. Die maximale Punktezahl kann nur für einen reinen Holzbau vergeben werden.

Holzkonstruktion	Punkte
... entspricht 100 % der Tragstruktur	100 P.
... entspricht 90-99% der Tragstruktur	90 P.
... entspricht 80-89% der Tragstruktur	80 P.
... entspricht 70-79% der Tragstruktur	70 P.
... entspricht 60-69% der Tragstruktur	60 P.
... entspricht 50-59% der Tragstruktur	50 P.
... entspricht 40-49% der Tragstruktur	40 P.
... entspricht 30-39% der Tragstruktur	30 P.
... entspricht 20-29% der Tragstruktur	20 P.
... entspricht 10-19% der Tragstruktur	10 P.

Die Punktevergabe erfolgt gemäß dem Holzanteil der Tragstruktur. Die Fundierung ist zu vernachlässigen, da diese zu stark von den vorherrschenden Bodenverhältnissen abhängig ist und im modernen Bauwesen in der Regel aus Beton gefertigt wird.

Technische Faktoren

Holzschutz: In welcher Art und Weise erfolgt im Holzhochhaus der Holzschutz?



In dieser Detailkategorie wird auf den Holzschutz des Gebäudes eingegangen. Zunächst erfolgt eine Analyse des Objektes gemäß der Fragestellung dieser Kategorie. Anschließend wird das Gebäude wie folgt bewertet:

Die Minimalanforderung für jedes Gebäude ist der Schutz vor Feuchtigkeit und Schädlingen. Die Maximalpunktzahl in dieser Detailkategorie wird mit 30 P. bewertet.

Die Punktevergabe erfolgt nach folgendem Schlüssel:

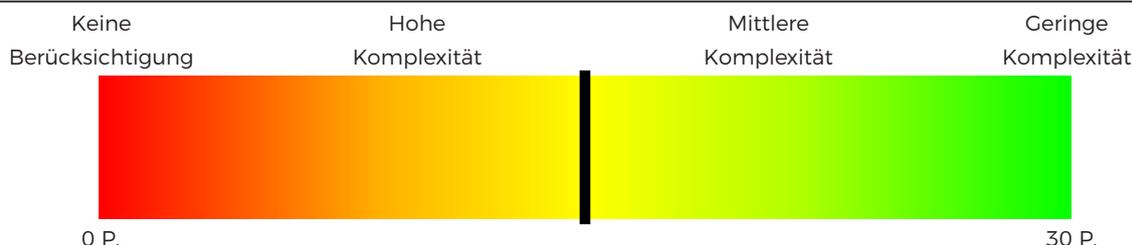
Art des Holzschutzes	Punkte
Überwiegend materialbedingter Holzschutz	30 P.
Überwiegend konstruktiver Holzschutz	20 P.
Überwiegend chemischer Holzschutz	10 P.
Kein Holzschutz	0 P.

Kommen mehrere Arten des Holzschutzes zur Anwendung gilt das Überwiegensprinzip.

Technische Faktoren

Effektivität der Verbindungen:

Inwiefern wurde Rücksicht auf die intrinsischen Eigenschaften (z.B. Faserrichtung) des Holzes genommen?
Wie aufwendig waren diese Vorkehrungen?



In Detailbereich 03 wird der Fokus auf die Effektivität der einzelnen Verbindungen der Bauteile gelegt. Das Holz verfügt über Negativeigenschaften die in Kombination mit anderen Materialien bereinigt werden können bzw. müssen. Zum Beispiel kann Holz quer zur Faser nicht bzw. nur limitiert Belastung aufnehmen. Um seine maximale Tragfähigkeit zu gewährleisten, sind Bauteilverbindungen erforderlich, die dieser Materialeigenschaft entgegenwirken. Zur Bewertung gelangen insbesondere Bauteilverbindungen die tragwerksrelevant sind, z.B. zwischen Stützen und Deckenbauteilen.

Dieser Punkt wird mit maximal 30 P. bewertet. Die Bewertung erfolgt gemäß der Komplexität und dem Aufwand, welcher mit der Art der Verbindung einhergehen.

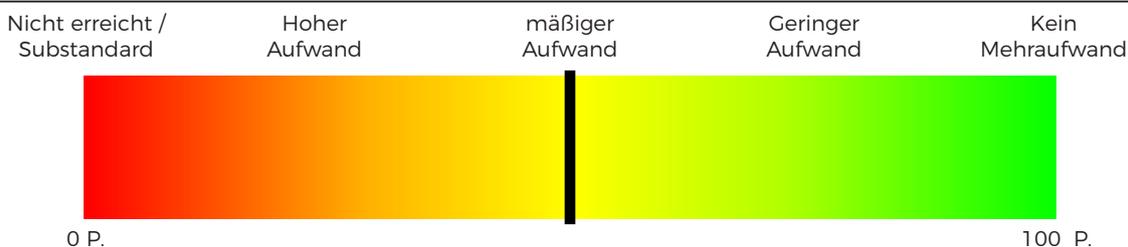
Komplexität	Art der Verbindung	Punkte
Gering	<u>Verbindungen:</u> Stecken, Schrauben, Nieten, Nageln, Bolzen, Auflegen, Schichten, Dübeln	30 P.
Mittel	<u>Verbindungen:</u> Einfache Verbindungen + vereinzelt Vergussarbeiten, Klebeverbindungen	20 P.
Hoch	<u>Verbindungen:</u> Überwiegend Vergussarbeiten, Ortbetonschichten, Schweißverbindungen, andere Sonderlösungen	10 P.

Es gilt das Überwiegensprinzip. Bei Nichtberücksichtigung von materialspezifischen Eigenschaften des Holzes können keine Punkte vergeben werden.

Technische Faktoren

Schall:

Welche Vorkehrungen waren notwendig um die gesetzlich erforderlichen Schallschutzwerte zu erzielen?



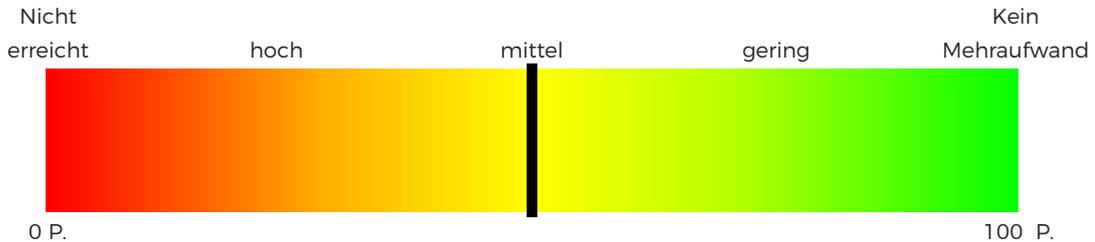
Die in dieser Kategorie zu vergebene Maximalpunktzahl ist mit 100 P. gewichtet, da das Thema Schallschutz eines der größten Herausforderungen im Holzbau darstellt.

Da der Schallschutz im Holzbau zumeist mit einem erhöhten baulichen und finanziellen Mehraufwand einhergeht, sind für die Komplexität und die Art des Aufwandes Punkte zu vergeben. Je höher der Aufwand, desto weniger Punkte werden in dieser Kategorie vergeben. Die Punkte werden folgendermaßen vergeben:

Aufwand	Maßnahmen	Punkte
Kein	Keine Zusatzmaßnahmen erforderlich (exkl. TSD)	100 P.
Gering	Schüttungen, schallabsorbierende Bodenbeläge (z.B. Teppichböden), Estrich (wenn reine schalltechnische Gründe)	75 P.
Mäßig	Zusätzlich zu den vorgenannten Maßnahmen: Werkproduzierte Verbundbauteile (mit Betonanteil), abgehängte Decken, Doppelte Böden, Beplankungen, Schalltrennfugen,	50 P.
Hoch	Zusätzlich zu den vorgenannten Maßnahmen: Verbundbauteile mit Ortbeton, Sondermaßnahmen	25 P.

Technische Faktoren

Brand:
Wie hoch ist der erzielte Brandwiderstand?
Mit welchem Aufwand ist die Erzielung dieses Wertes verbunden?



Das Thema Brandschutz ist ähnlich wie das Thema Schallschutz ein bedeutsamer Aspekt im Holzbau. Deshalb wird dieser Bereich ebenfalls mit 100 P. gewichtet.

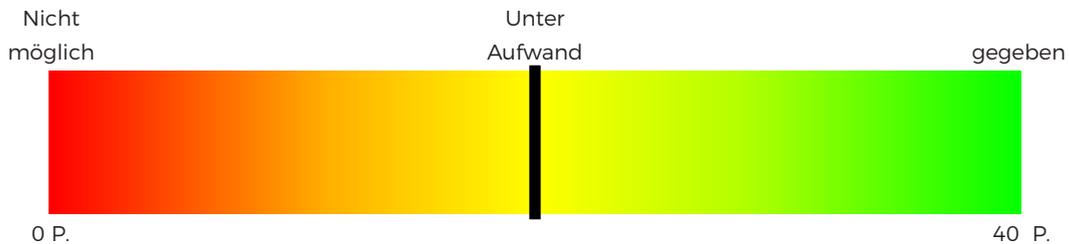
Da der Brandschutz ähnlich dem Schallschutz mit erhöhtem Aufwand einhergeht, werden je nach Art der zusätzlich erforderlichen Brandschutzmaßnahmen Punkte vergeben. Je aufwendiger die getroffenen Maßnahmen und Vorkehrungen, desto weniger Punkte werden erreicht. Nachfolgende Punkte werden vergeben:

Mehraufwand	Maßnahmen	Punkte
Kein	Keine Zusatzmaßnahmen über den Anforderungen nach OIB 2.3 erforderlich (Brandmeldeanlagen, Sprinkleranlagen)	100 P.
Gering	Zusätzlich: Überdimensionierung von Bauteilen auf Abbrand, kleinere Brandabschnitte	75 P.
Mäßig	Zusätzlich: Nebelwände, Einkapselung	50 P.
Hoch	Zusätzlich: Feuerlöschinstallationen, Brandschutzanstriche, weitere vergleichbare Maßnahmen	25 P.

Wirtschaftliche Faktoren

Effizienz der Planung:

Ist eine nachträgliche Umnutzung des Gebäudes möglich?



Ein wichtiger wirtschaftlicher Faktor stellt die Nach- und Umnutzung eines Gebäudes dar. Diese ist als allgemeiner wirtschaftlicher Faktor zu verstehen und beschränkt sich nicht auf den Holzbau.

Die Bewertung dieses Faktors wird mit einer Gesamtpunktzahl von 40 P. gewichtet. Ist eine Umnutzung des Gebäudes oder einzelner Gebäudeteile in eine andere Assetklasse (z.B. Büronutzung zu Wohnnutzung) gegeben, so können hierfür Punkte vergeben werden. Ist dies nicht möglich, werden in diesem Bereich keine Punkte erzielt.

Die Maximalpunktzahl für die Flexibilität wird dann erreicht, wenn mit keinem oder nur sehr geringem Aufwand eine Nutzungsänderung möglich ist. Dafür müssen alle Grundvoraussetzungen gegeben sein. Die drei Grundvoraussetzungen dafür sind:

- Ausreichende Raumhöhe für die Umnutzung in eine andere Nutzungsart
- Ausreichend Gebäudeinfrastruktur (Schächte, Leitungen, Gebäudetechnik)
- Flexible Tragstruktur (keine Eingriffe in das Tragwerk notwendig)

Sind all diese Punkte gegeben und müssen für eine Umnutzung lediglich Änderungen in der Raumaufteilung vorgenommen werden, sind 40 P. zu vergeben.

Muss zumindest in Teile der oben genannten drei Faktoren eingegriffen werden, so kann dieser Faktor lediglich mit „unter Aufwand gegeben“ beurteilt werden. Hierfür sind 20 P. anzusetzen.

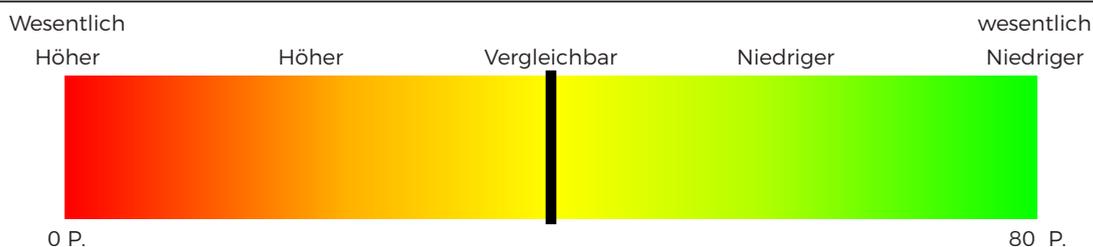
Ist eine Umnutzung nicht bzw. nur unter erheblichem Aufwand möglich, sind keine Punkte zu vergeben.

HINWEIS: Punkt 6 des Kriterienkatalogs bezieht sich nicht auf eine Bewertung des Holzbaus gegenüber einem konventionellen Hochhaus, sondern stellt die grundsätzliche Planungseffizienz und Flexibilität des Gebäudes dar. Da dies ein wichtiger Faktor in der Bewertung eines Hochhauses im Allgemeinen darstellt.

Wirtschaftliche Faktoren

Kosten:

Wie hoch sind die Kosten gegenüber einem konventionell
(in Stahlbeton o. Stahl) errichteten Hochhaus?



Dieser Faktor wird mit einer Maximalpunktzahl von 80 P. gewichtet. Die Kosten sind ein wichtiger Faktor in der Bewertung einer Immobilie. Diese werden insbesondere mit den Kosten von konventionell errichteten Hochhäusern verglichen und bewertet.

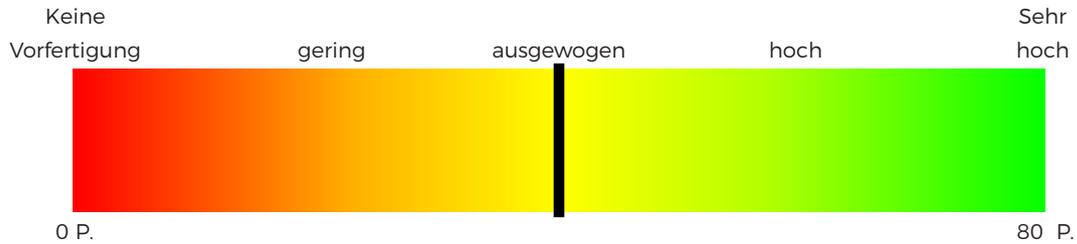
Kosten	Kosten ggü. konventioneller Bauweise	Punkte
Wesentlich Niedriger	>15 % geringer	80 P.
Niedriger	5-15 % geringer	60 P.
Vergleichbar	5 % höher bis 5 % geringer	40 P.
Höher	5-15 % höher	20 P.
Wesentlich Höher	> 15 % höher	0 P.

HINWEIS: Dieser Faktor wird nicht mit der maximal möglichen Punktzahl von 100 P. gewichtet, da zum aktuellen Stand des Kriterienkatalogs (Version 2020) jedes errichtete Holzhochhaus Prototypen-Charakter aufweist, wodurch ein ökonomischer Nachteil entsteht. Deshalb werden auch für vergleichbare Kosten zur konventionellen Bauweise 40 P. vergeben. Sollte sich der Status Quo in den kommenden Jahren ändern, behält sich „Tall Wood Score“ vor, das Punktesystem zu aktualisieren und neu zu gewichten.

Wirtschaftliche Faktoren

Vorfertigung

Wie hoch ist der Vorfertigungsgrad des Gebäudes?



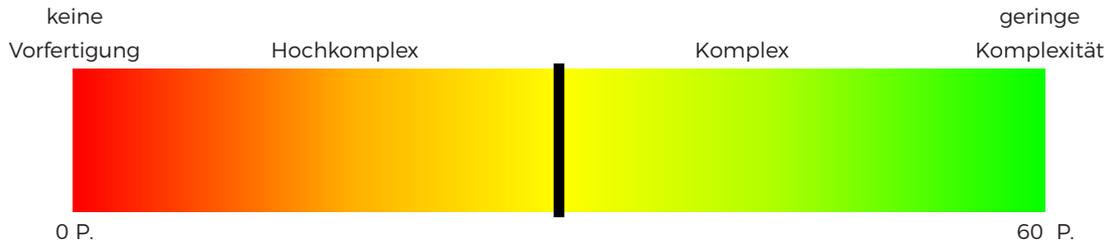
Die Vorfertigung ist einer der entscheidenden Vorteile des Holzbaus und stellt daher auch einer der wichtigsten Faktoren in der Beurteilung eines Holzhochhauses dar. Da sich das Holz gegenüber anderen Baustoffen äußerst gut für die Vorfertigung eignet, können dadurch positive wirtschaftliche Effekte erzielt werden (z.B. durch serielles Bauen, verkürzte Bauzeiten, hohe Bauteilpräzision, usw.). Der Grad der Vorfertigung ist deshalb ausschlaggebend für die Punktevergabe dieser Detailkategorie.

Vorfertigungsgrad	Bezeichnung	Punkte
100-75 %	Sehr Hoch	80 P.
74,9-50 %	Hoch	60 P.
49,9-25 %	Ausgewogen	40 P.
24,9-1 %	Gering	20 P.
0 %	Keine Vorfertigung	0 P.

Wirtschaftliche Faktoren

Vorfertigung

Wie komplex sind die vorgefertigten Teile und wie wirkt sich dies auf die Fertigung und die Montage der Teile aus?



Diese Detailkategorie ist in zwei Teilbereiche unterteilt. Einerseits wird die Komplexität von den verwendeten Bauteilen bewertet. Andererseits wird auch die anschließende Montage auf der Baustelle beurteilt. Beide Teilbereiche werden mit der Hälfte der Gesamtpunkte bewertet.

Die verschiedenen Arten von vorgefertigten Bauteilen sind wie folgt zu bewerten:

Komplexität	Art des Bauteils	Punkte
gering	Materialreine Bauteile; einfache systematisierte, maschinelle Herstellung; kaum Arbeiter erforderlich;	30 P.
komplex	einfache Verbundbauteile; teilautomatisierte Herstellung; teilweise durch Arbeiter produziert,	20 P.
hoch	Komplexe Verbundbauteile; geringe Automatisierung; überwiegend durch menschliche Arbeit produziert;	10 P.

Unabhängig von der Herstellung der Bauteile wird auch die Komplexität der Bauteilmontage bzw. der Gebäudeherstellung beurteilt werden:

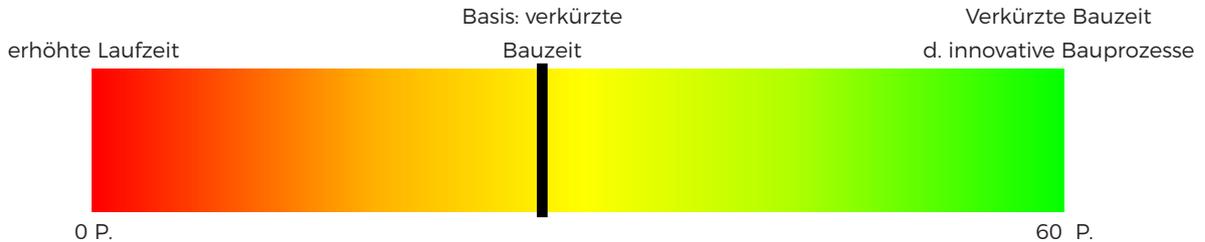
Komplexität	Beschreibung	Punkte
gering	Seriellles Bauen mit wenig verschiedenen Einzelteilen und Verbindungen / Modulbauweise / überwiegend Montagearbeit	30 P.
komplex	Teilweise seriellles Bauen / kleine Einzelteile / Montagearbeit und vor Ort Arbeit	20 P.
hoch	Kein seriellles Bauen / kleine, komplexe Einzelteile und Bauteilverbindungen / überwiegend vor Ort Arbeit	10 P.

Die beiden Werte werden addiert. Es gilt das Überwiegensprinzip.

Wirtschaftliche Faktoren

Projektlaufzeit

In welchem Zeitrahmen konnte das Gebäude errichtet werden? Konnte durch innovative Baumethoden Zeit eingespart werden?



In dieser Detailkategorie wird zunächst ermittelt ob gegenüber einer konventionellen Errichtung in Massivbauweise Zeit eingespart werden konnte. Ist die Bauzeit insgesamt als verkürzt zu beurteilen so werden 25 P. Zusätzlich können durch den Einsatz von innovativen Bauprozessen weitere Punkte vergeben werden:

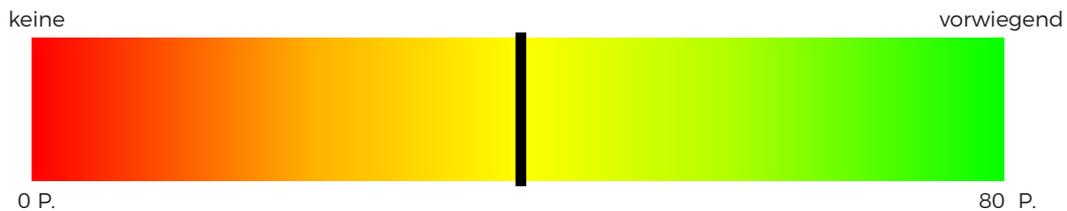
Innovativer Bauprozess	Punkte
Einsatz von Modulen	15 P.
Einsatz von Vollfertigteilen + einfachen Bauteilverbindungen	10 P.
Einsatz von Halbfertigteilen	5 P.
Einsatz von BIM bzw. digitalen Gebäudemodellen	5 P.
Digitales Planungs- und Bauprozessmanagement	5 P.
Digitales o. blockchainbasiertes Logistikmanagement	5 P.

Ein Überschreiten der Maximalpunktzahl von 60 P. ist nicht möglich.

Hybride Faktoren

Nachhaltigkeit

Wurde bei dem Bau des Holzhochhauses darauf Wert gelegt nachhaltige Baustoffe zu verwenden?



Zur Beurteilung der Nachhaltigkeit eines Bauwerkes muss zunächst die Beurteilung der eingesetzten Baustoffe erfolgen.

Die eingesetzten Baustoffe werden nach den nachfolgenden Kriterien beurteilt:

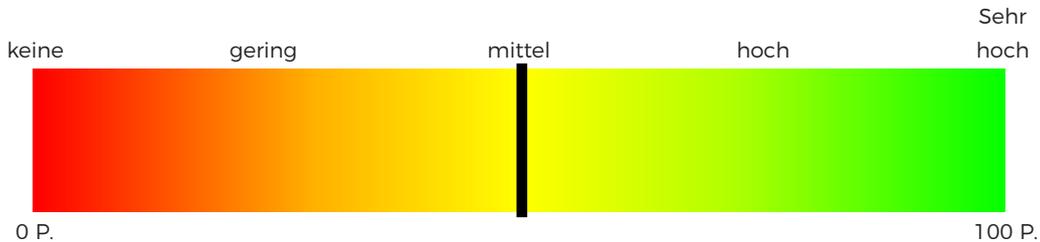
Kriterium	Punkte
Einsatz von regionalen Produkten / Baustoffen (< 200 km)	10 P.
Tragwerk aus überwiegend nachwachsenden Rohstoffen (>75%)	40 P.
Tragwerk aus vermehrt nachwachsenden Rohstoffen (75-50%)	30 P.
Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen im Tragwerk (50-25%)	20 P.
Einsatz nachwachsenden Rohstoffen als Dämmstoff	10 P.
Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen für Bauwerksoberflächen (Fassaden, Innenräume)	10 P.
Einsatz von Recyclingmaterialien im Bauwerk	10 P.
Reduktion von nicht nachwachsenden Rohstoffen (z.B. Stahl, Beton, EPS, XPS, usw.)	10 P.

Die Punkte werden summiert. Ein Überschreiten der Maximalpunktzahl von 80 P. ist nicht möglich. Für das Kriterium „Tragwerk“ ist lediglich der zutreffende Punkt zu wählen.

Hybride Faktoren

Nachhaltigkeit

Wie viele CO₂-Äquivalente konnten durch den Einsatz von Holz in diesem Holzhochhauses eingespart werden?



Zur Bewertung dieses Punktes werden zunächst die CO₂-Äquivalente des eingesetzten Holzes des Holzhochhauses ermittelt. Dies erfolgt auf Basis der folgenden Eingangsparameter:

- V - Volumen des verbauten Holzes
- E - Ersparte CO₂-Äquivalente pro m³ Holz

Für E wird dabei angenommen, dass pro m³ verbautem Holz 600 kg CO₂-Äq. eingespart werden können. Diese Zahl basiert auf den zu erwartenden Werten für KLH (Fichte) von der Rohstofferte bis zur Herstellung des Baustoffes. Da der Wert für andere gängige Holzprodukte darüber liegt (Bsp. BSH bei 650 kg CO₂-Äq.) wird der Wert für KLH herangezogen (worst case Annahme).

Der Wert der sich aus der Formel $V \cdot E$ ergibt wird anschließend durch die Bruttogeschossfläche des zu untersuchenden Gebäudes geteilt. Die Punkte für diesen Teilbereich werden gemäß der nachfolgenden Tabelle verteilt:

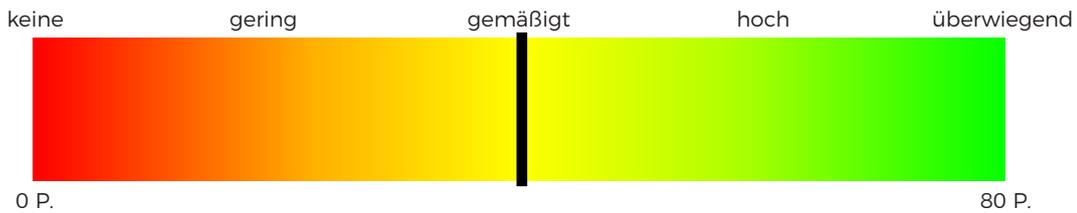
Eingesparte CO ₂ -Äquivalente pro m ² [kg CO ₂ Äq. / m ²]	Punkte
> 150 kg CO ₂ Äq. / m ²	100 P.
149,9 - 100 kg CO ₂ Äq. / m ²	75 P.
99,9 - 75 kg CO ₂ Äq. / m ²	50 P.
74,9 - 50 kg CO ₂ Äq. / m ²	25 P.
< 50 kg CO ₂ Äq. / m ²	0 P.

Weichen die erzielbaren CO₂ - Äquivalente des primär verbauten Materials nachweislich um mehr als 5% von den 600 kg CO₂ pro m³ ab (beispielsweise durch den hauptsächlich Einsatz von BSH), kann die Berechnung nach dem tatsächlich eingesetzten Material erfolgen. In diesem Fall ist ein Nachweis zu führen.

Hybride Faktoren

Materialkreislauf

Gibt es für dieses Holzhochhaus ein Rückbaukonzept?
Wie recycelbar ist das Gebäude?



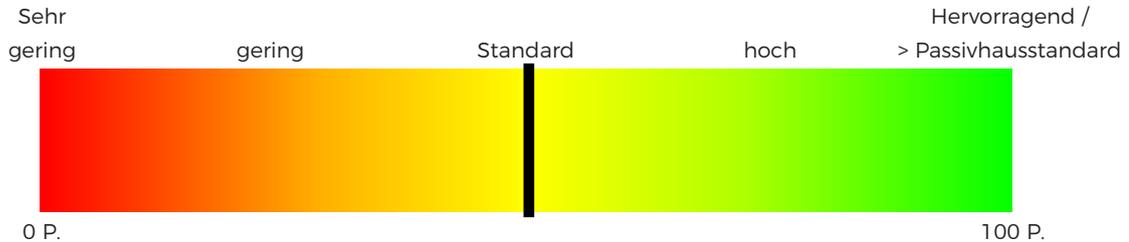
Für die Bewertung des Materialkreislaufs ist eine Maximalpunktzahl von 80 P. angesetzt. Diese ergeben sich aus den kumulierten Werten der nachfolgenden Tabelle:

Materialkreislauf	Punkte
Rückbaukonzept vorhanden	30 P.
Besteht überwiegend aus recyclingfähigen Materialien	30 P.
Besteht zum Teil aus recyclingfähigen Materialien	20 P.
Überwiegend materialreine Bauteile	10 P.
Demontage / Zerlegung zerstörungsfrei möglich	20 P.
Demontage / Zerlegung großteils zerstörungsfrei möglich	10 P.
Verzicht auf erdölbasierte Dämmstoffe	10 P.
Wiederaufbau an anderer Stelle möglich	30 P.

Hybride Faktoren

Energieeffizienz

Wie energieeffizient ist das Gebäude im laufenden Betrieb?



Einer der wichtigsten Faktoren für die Bewertung der Gesamtpformance eines Gebäudes ist seine Energieeffizienz. Insbesondere fällt dabei der Heizwärmebedarf ins Gewicht. Die Einteilung der Gebäude erfolgt zunächst anhand des spezifischen Heizwärmebedarfs:

HWB [kWh/m ²]	Bezeichnung	Punkte
≤ 10	Passivhausstandard	100 P.
≤ 25	Niedrigstenergiehaus	75 P.
≤ 50	Niedrigenergiehaus	50 P.
≤ 100	Standardobjekt	25 P.

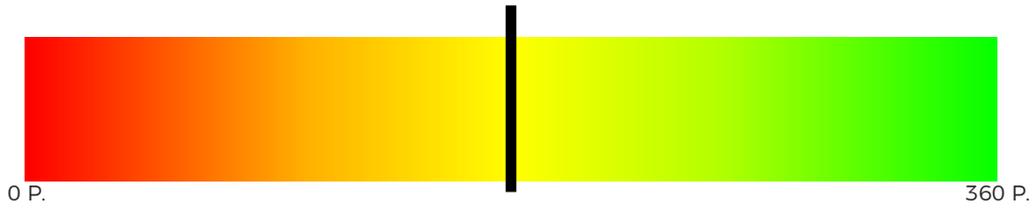
Des Weiteren werden für innovative bzw. nachhaltige Gebäudekonzepte zusätzlich Punkte vergeben, sofern die maximale Punktzahl von 100 P. nicht bereits erreicht wurde.

Darunter fallen unter anderem folgende Maßnahmen:

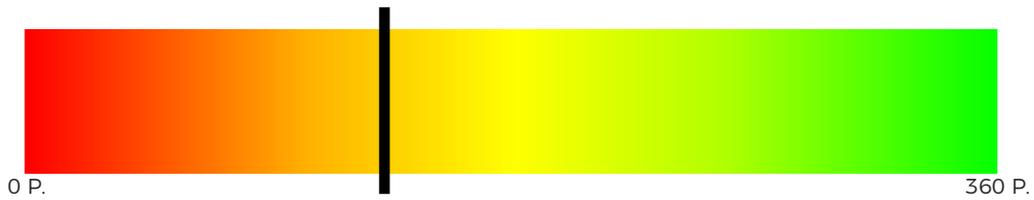
Maßnahmen	Punkte
Einsatz von Photovoltaik, Solaranlagen, Erdwärme	10 P.
Verwendung von Fernwärme, Fernkälte	10 P.
Verwendung sonstiger biologischer Brennstoffe	5 P.
Gebäudeautomation (Heizung, Lüftung, Kühlung, Licht)	10 P.
Wärmerückgewinnung	10 P.
Energierückgewinnung	10 P.
Sonstige gleich- oder höherwertige Maßnahmen (Nachweis erforderlich)	10 P.

GEBÄUDEPERFORMANCE

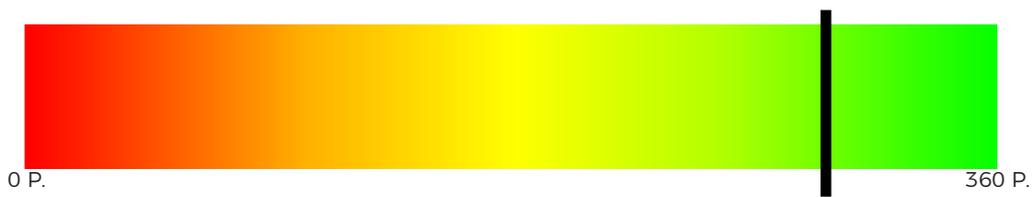
Technisch



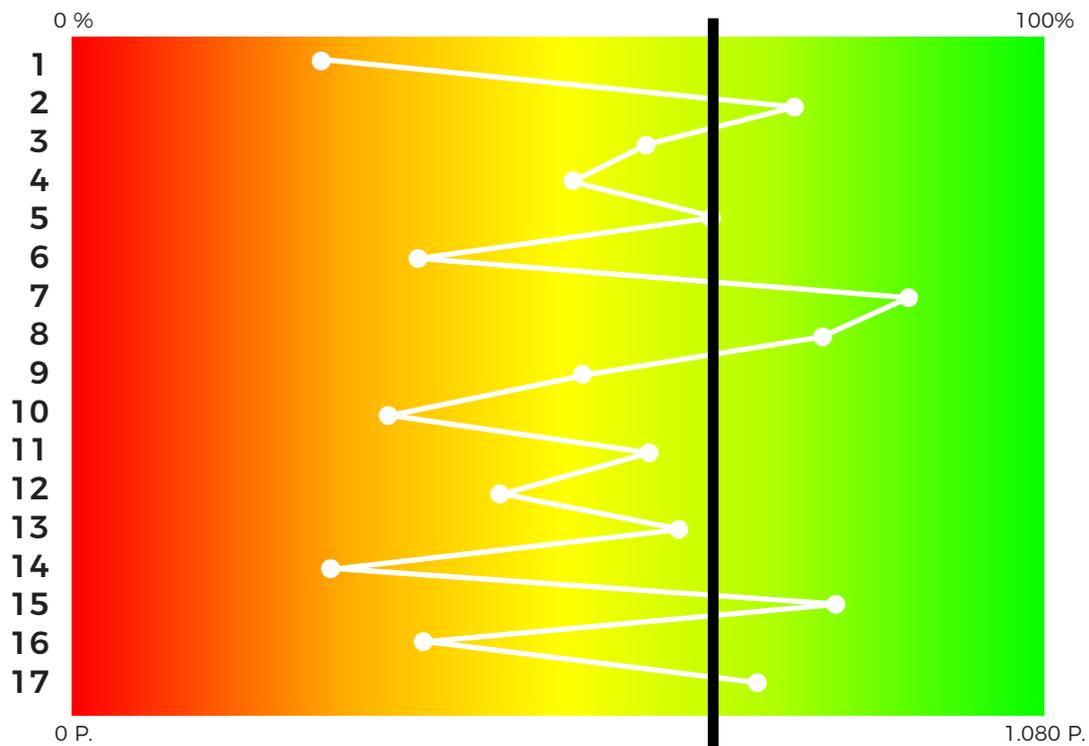
Wirtschaftlich



Hybrid



Gesamt



Ergebnis

In diesem Teil wird die Gesamtperformance des Gebäudes dargestellt. Diese fasst die in der Studie gewonnen Erkenntnisse zusammen und gibt einen Überblick über die Stärken und Schwächen des untersuchten Objektes.

6.3 OBJEKTAUSWAHL

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
 The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

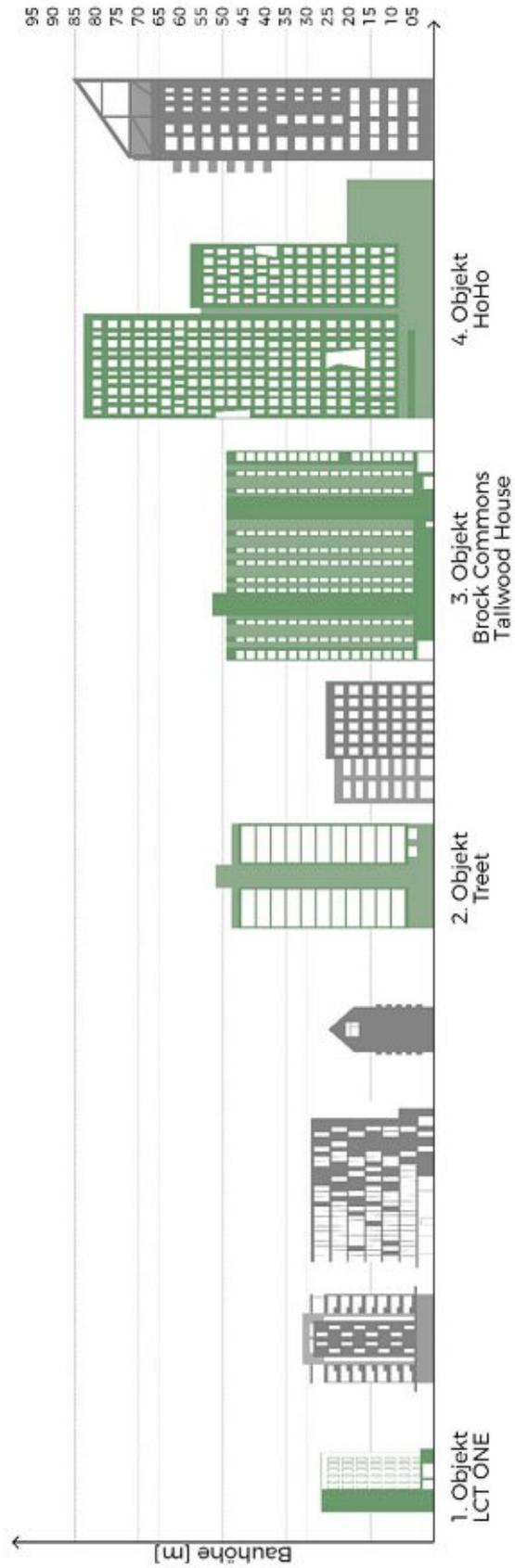
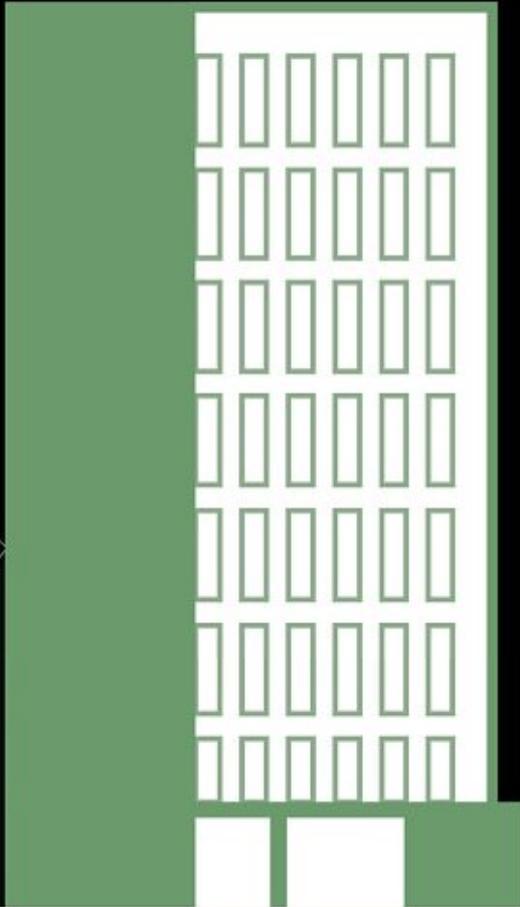


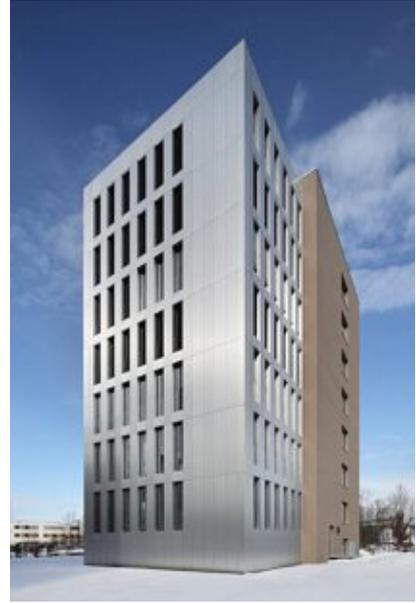
Abb. 39 Objektauswahl

7 LEUCHTTURMPROJEKTE

7.1 LIFECYCLE TOWER ONE



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



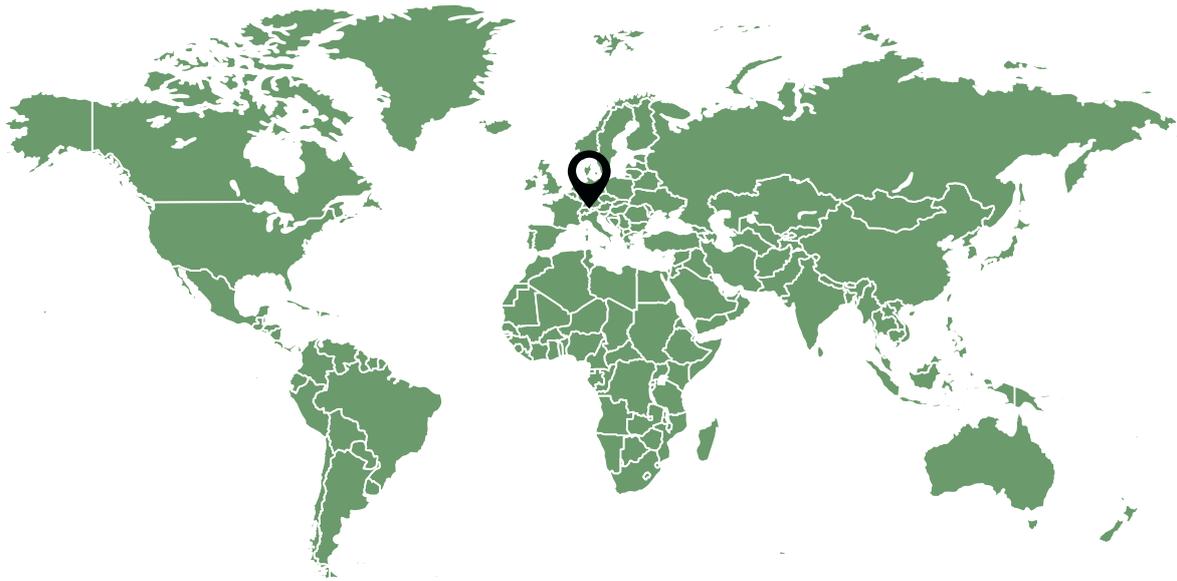
LIFECYCLE TOWER ONE- DORNBIRN TALL WOOD SCORE

INHALT

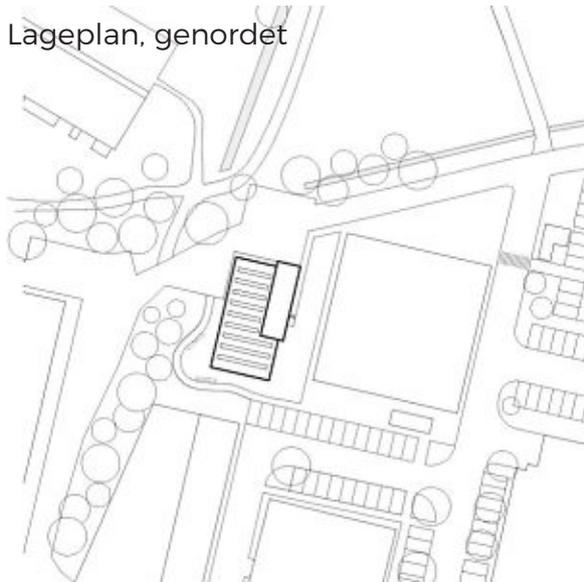
Objektdaten	3
Objektbeschreibung	4
Technische Faktoren	5
Wirtschaftliche Faktoren	15
Hybride Faktoren	25
Gebäudeperformance	30
Ergebnis	31
Stärken	31
Schwächen	31
Quellenverzeichnis	32
Abbildungsverzeichnis	33

LIFECYCLE TOWER ONE

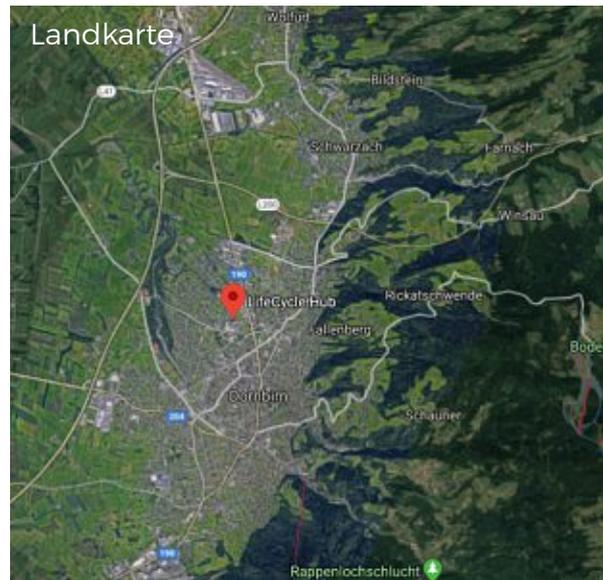
Weltkarte



Lageplan, genordet



Landkarte



Objektdaten

Projekttitlel: LifeCycle Tower

Bauort: Dornbirn

Adresse: Färbergasse 15

Fertigstellung: 2012

Nutzung: Bürogebäude

Bauweise: Holz-Beton-Verbund

Stockwerke: 8

Gebäudehöhe: 27 m

Nutzfläche: 1.765 m²

Bauherr: Cree GmbH

Architektur: Hermann Kaufmann + Partner ZT

Tragwerk: merz kley partner ZT GmbH

Brandschutz: IBS GmbH

Bauphysik: DI Bernhard Weithas GmbH

Bauunternehmen: Cree GmbH

Objektbeschreibung

Der LifeCycle Tower ONE (LCT ONE) ist ein acht Stockwerke hohes Bürogebäude in Dornbirn, Österreich. In vielerlei Hinsicht stellt der LCT ONE einen Prototypen dar. Mit seiner Fertigstellung im Jahr 2012 gilt der LCT ONE global als einer der ersten Holzhybridhochbau, weshalb dieser auch LCT ONE genannt wurde.

Der LCT ONE ist mit einer Höhe von 27 m auch das vorerst höchste Holzhaus (sofern es als solches gezählt werden kann), welches nicht für sakrale Zwecke konzipiert ist. Mit seinen rund 1.765 m² stellt der LCT ONE ein relativ kleines Bürogebäude dar. Es ist jedoch nur als Proof of Concept für das vom Bauherrn (CREE) eigens entwickelte LCT Bausystem, welches nach ersten Studien das Potenzial aufweist, bis zu 30 Geschosse und 100 m hoch zu bauen, konzipiert.

Die Triebkraft für die Entwicklung eines solchen neuartigen Bausystems war vor allem die Notwendigkeit der Reduktion von negativen Einflüssen der Bauindustrie auf die Umwelt.

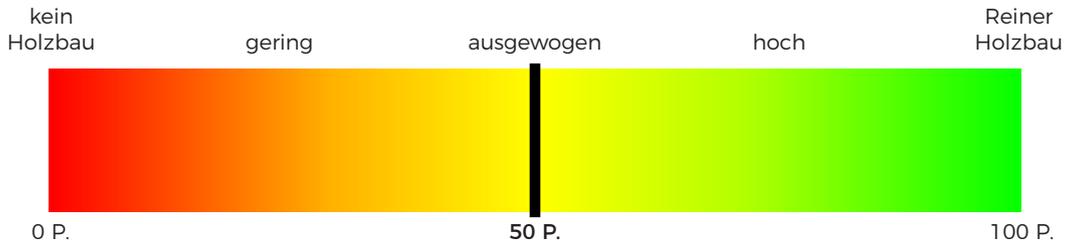
Namensgebend war deshalb die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus des Gebäudes, noch vor dieses gebaut wurde. Der Entwurf berücksichtigt deshalb nicht nur den Bezug und die Produktion der Materialien, sondern auch die Konstruktion, den Gebäudebetrieb, sowie den Rückbau und die Wiederverwertung der Gebäudeteile nach Ende des Lebenszykluses.

Das Ergebnis dieser Idee war die Entwicklung eines nachhaltigen Bausystems, welches auf einem Kern-Hülle Prinzip in hybrider Bauweise basiert. Als nachhaltiges Bürogebäude konzipiert, kommt im LCT ONE ein hochflexibles und stark systematisiertes System aus Stützen in der Fassadenebene, sowie Balken und Platten zum Einsatz. Die stützenfreien Grundrisse verleihen dem Gebäude in der Nutzungsmöglichkeit Flexibilität.

Technische Faktoren

Holzanteil:

Wie hoch ist der Holzanteil der Konstruktion des untersuchten Holzhochhauses?



Das Gebäude

In der Konzeption ist der LCT ONE ein möglichst simpel gehaltenes Baukastensystem, bestehend aus lediglich drei Teilen:

- Tragende Stützen an der Fassadenebene
- Deckenelemente, die zwischen der Fassade und dem Stahlbeton-Treppenhaukern spannen
- Fassadenplatten, welche die Hülle des Gebäudes bilden

In der tatsächlich ausgeführten Variante konnte das System sogar auf zwei Komponenten reduziert werden, indem die tragenden Stützen mit den Fassadenelementen kombiniert wurden. Durch den Einsatz von Rahmenhölzern werden die Stützenpaare zu einem Element und können somit gleichzeitig versetzt werden. Darüber hinaus übernimmt der Stahlbeton die wichtigen aussteifenden Funktionen des Gebäudes. Der Erschließungskern übernimmt außerdem die komplette Erschließungsfunktion der Etagen, sowie die technische Versorgung des Gebäudes.

Ein mögliches Brettsperrholzplattensystem wurde aufgrund von Materialoptimierungen zugunsten von Brettschichtholzrahmen ersetzt. Durch die Pendelstützen, die als Holz-Doppelstützen (Brettschichtholz mit jeweils 240x240 mm Querschnitt und einer 10 mm Fuge) realisiert wurden, werden die auftretenden Kräfte unmittelbar über die Decke auf das darunterliegende Stützenpaar abgeleitet. Auftretende Horizontal- und Torsionskräfte werden über die Fassadenelemente in die Decken zum Aussteifungskern geleitet.



Abbildung 1: Tragwerksdiagramm

Die Deckenelemente wurden als Holz-Beton-Komposit entwickelt. Die Rippendecken bestehen aus jeweils vier Brettschichtholzbalken mit einem Querschnitt von 240x280 mm, sowie einer 80 mm dicken Betonplatte und Unterzügen an den Schmalseiten der Elemente.

Durch das Konstruktionssystem blieben die äußersten Fassadenelemente nicht tragend, wodurch eine komplette Glasfassade möglich gewesen wäre. Jedoch wurden die Wände durch Holzwerkstoffpfosten und einer Beplankung aus Grobspanplatten als Lochfassade ausgeführt und mit den tragenden Brettschichtholzstützen kombiniert, wodurch der Holzanteil im Gebäude weiter gesteigert wurde.

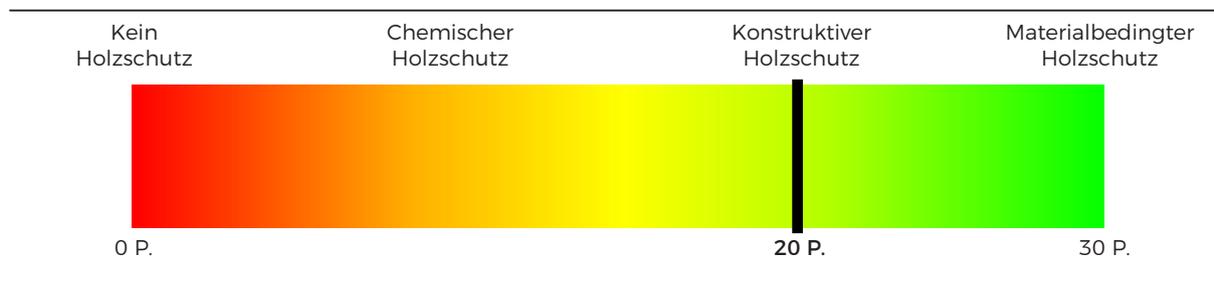
Bewertung

Die hybride Konstruktion des LCT ONE verfügt, trotz des aussteifenden Erschließungskerns aus Stahlbeton und der Betonkomponente der Deckenelemente über einen beträchtlichen Anteil an Holz. Der Baustoff wird dabei nicht nur im Tragwerk verwendet, sondern kommt auch in großen Teilen der Fassade und den innenliegenden Oberflächen zum Einsatz. Das eingesetzte Holz entspricht rund der Hälfte der Primärtragstruktur und wird deshalb mit 50 P. bewertet. .

Technische Faktoren

Holzschutz:

In welcher Art und Weise erfolgt im LifeCycle Tower ONE der Holzschutz?



Feuchteschutz

Um Feuchtigkeitsentwicklung von Außen auf das Holz-Tragwerk möglichst optimal zu reduzieren, wurde das Sockelgeschoss in herkömmlicher Massivbauweise ausgeführt.

Die äußere Haut des Gebäudes ist eine Kombination aus Glas und recycelten Aluminiumpaneelen. Durch die werkseitige Fertigung der gesamten Fassaden und Deckenelemente kann von einer trockenen Konstruktion gesprochen werden. Infolge der Vorfertigung konnte die Montagezeit eines gesamten Geschosses, inklusive aller Verbindungen, Verfugungs- und Abdichtungsarbeiten, auf fünf Stunden reduziert werden, was eine komplett dichte Hülle und Schutz gegen Feuchte noch bereits am selben Tag gewährleistete.

Das gesamte Gebäude kommt ohne jeglichen Einsatz von chemischen Holzschutzmitteln aus.

Bewertung

Durch das Errichten des Sockelgeschosses in Massivbauweise einerseits, sowie der sofortigen Dichtheit der Gebäudehülle (Aluminium und Glas in der vertikalen sowie Beton in der Horizontalebene) nach Montage andererseits, ist das Holztragwerk bereits während der Bauphase vor Feuchte geschützt. Diese konstruktiven Maßnahmen, in Verbindung mit den materialbedingten Eigenschaften der Gebäudehülle, reduzieren den Einsatz von chemischen Holzschutzmitteln und passen somit ausgezeichnet in den Nachhaltigkeitsansatz, den das Gebäude verfolgt.

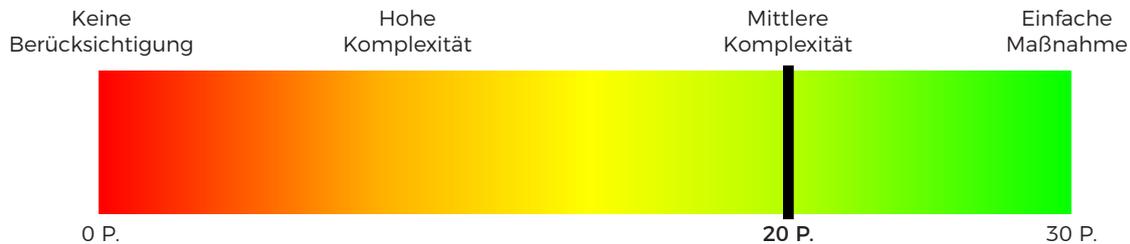
Das Gebäude wird somit überwiegend durch konstruktive Maßnahmen geschützt, weshalb diese Kategorie mit 20 P. bewertet wird.

03

Technische Faktoren

Verbindungen:

Inwiefern wurde Rücksicht auf die intrinsischen Eigenschaften (z.B. Faserrichtung) des Holzes genommen?
Wie aufwendig waren diese Vorkehrungen?

**Quellen und Schwinden**

Durch den Einsatz von Brettschichtholz-Balken anstelle von Brettsperrholz-Platten, wurde einem großen Nachteil des Plattensystems entgegengewirkt. Im Gegensatz zu den Platten sind im Brettschichtholz-Balken sämtliche Fasern in die selbe Richtung orientiert. Dadurch kann das für Holz charakteristische Problem des Quellens und Schwindes neutralisiert werden.

Lasten

Die Fugen zwischen den einzelnen Deckenelementen wurden mit Mörtel vergossen, wodurch diese als statische Scheiben agieren. Horizontallasten können so, ohne den Einsatz weiterer statischer Maßnahmen, abgeleitet werden.

Die Vertikallasten werden im LCT ONE über zwei Bereiche in das Fundament geleitet. Zum einen über den Stahlbetonkern - hier tritt aufgrund der Material- und Konstruktionswahl kein Problem auf. Zum anderen werden im Bereich der Fassadenebene die Vertikallasten über die Stützenpaare durch die Decke in das Fundament geleitet. Besonders an den Schnittstellen zwischen Deckenkonstruktion und Stützen hätte ein reiner Holzbau Probleme. Der von oben kommenden Vertikallast stünde eine Holzdeckenkonstruktion mit horizontal ausgerichteten Holzfasern entgegen. Diese würde die Last weiter in das darunterliegende Stützenpaar weiterleiten. Durch die quer zur Faser einwirkende Last käme es zu einer Faserpressung und somit einer Quetschung der Deckenkonstruktion. Bei niedrigen Bauhöhen und geringen Lasten wäre diese nur marginal, jedoch darf dies bei einem Hochhaus nicht vernachlässigt werden.

Die Lösung dieses Problems wurde im LCT ONE wie folgt bewerkstelligt:

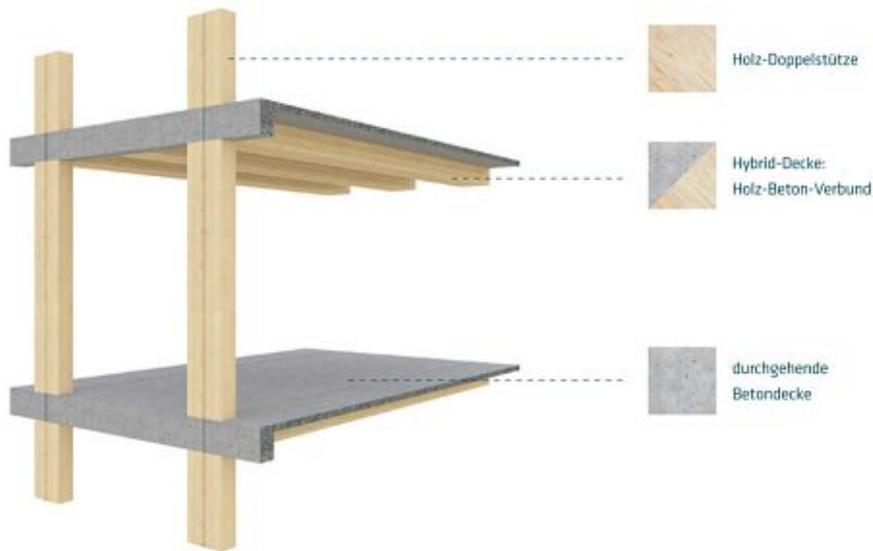


Abbildung 2: Deckenkonstruktionsschema

In den Schnittstellen zwischen Stützen und Decke wurde auf den Einsatz von Holz verzichtet. Dieser kritische Bereich der Konstruktion wurde zur Gänze in Beton ausgeführt, um der Faserpressung vorzubeugen, da Beton diese Schwäche nicht aufweist.

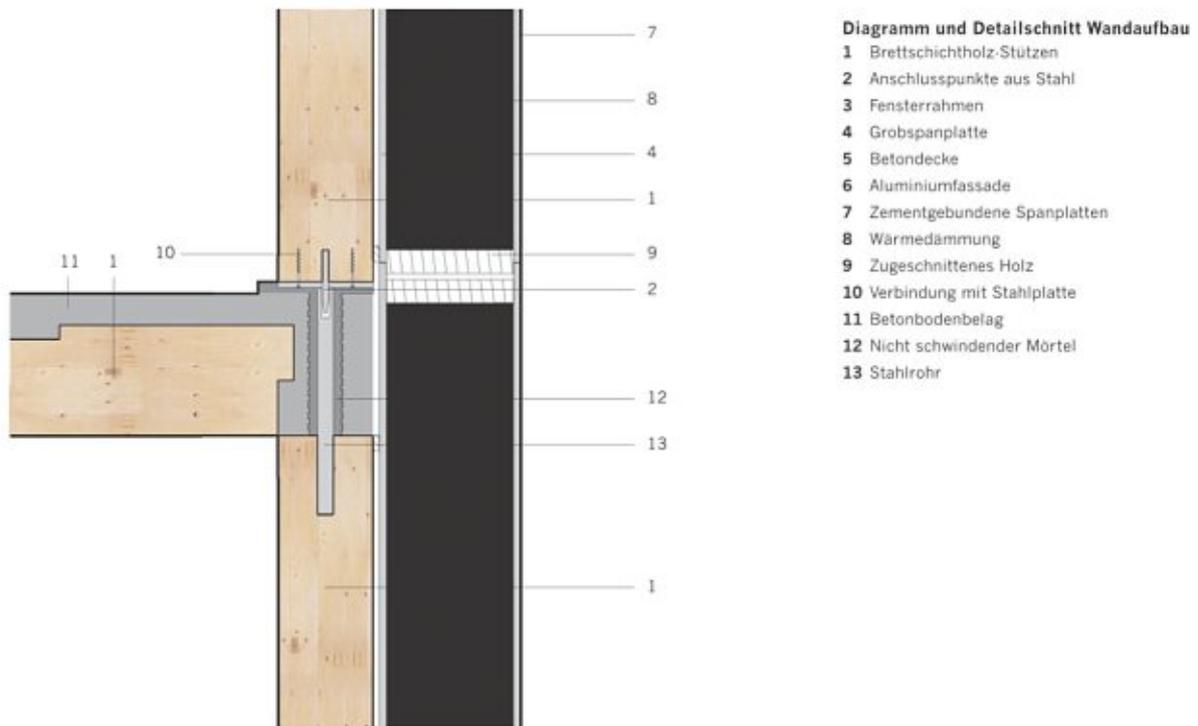


Abbildung 3: Fassadenschnitt: Anschlussdetail

Komplexität

Die einzelnen Deckenelemente verfügen in jeder Ecke über runde Löcher, durch die Stahlrohre, die an der Oberseite eines jeden Stützenpaares befestigt sind, geführt werden. Diese gelenkige Steckverbindung wird als Rohr-Dorn-Steckverbindung bezeichnet. Der Hohlraum zwischen den Löchern und den Stahlrohren wird mit nicht schwindendem Mörtel vergossen um so eine feste Verbindung zwischen den Geschossen herzustellen. Der untere Anschlusspunkt der Stützen wird mit Hilfe einer Stahlplatte hergestellt.

Bewertung

Die Faserrichtung des eingesetzten Baustoffes wurde bereits von Anfang an berücksichtigt. Dies zeigt sich zum einen im bewussten Einsatz von Brettschichtholz, anstelle des häufig eingesetzten Brettsperrholz, zur Neutralisierung des negativen Quell- und Schwindverhalten des Holzes. Zum anderen durch den Verzicht auf Holz zugunsten von Beton in den Bereichen, wo eine Faserpressung unvermeidlich wäre.

Die Fertigung der Elemente (Erläuterung hierzu in Punkt 10) ist als äußerst komplex einzustufen, Jedoch ist der Versatz und die Verbindung vor Ort an der Baustelle relativ unkompliziert und kann in einer sehr kurzen Zeit bewerkstelligt werden.

Die Komplexität der Verbindungen ist aufgrund der vereinzelt Vergussarbeiten in den Bereichen der Stützen und der Verbindung der Deckenelemente als mittel zu bewerten und mit 20 P. zu honorieren.

Technische Faktoren

Schall:

Welche Vorkehrungen waren notwendig um die gesetzlich erforderlichen Schallschutzwerte zu erzielen?

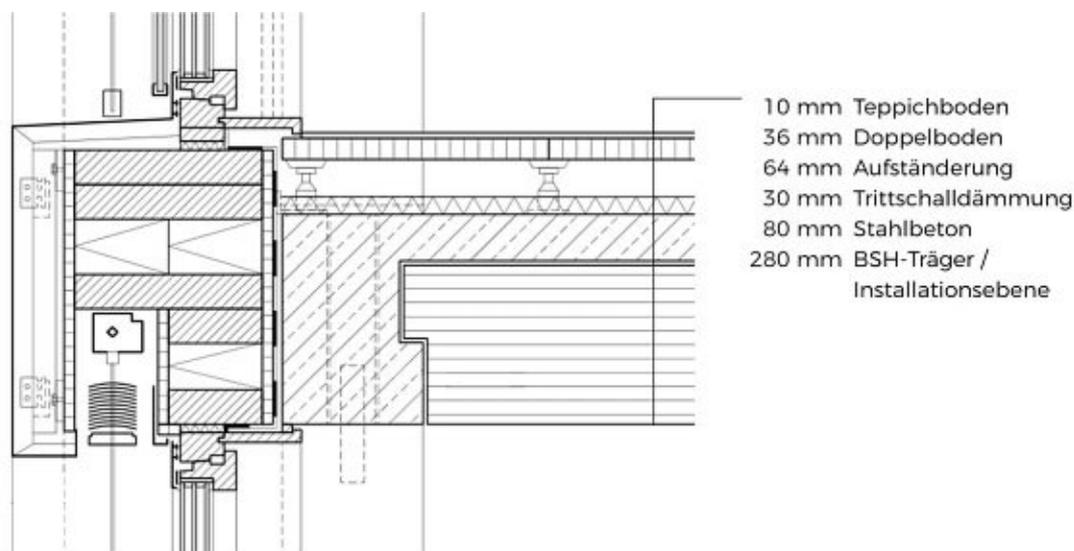
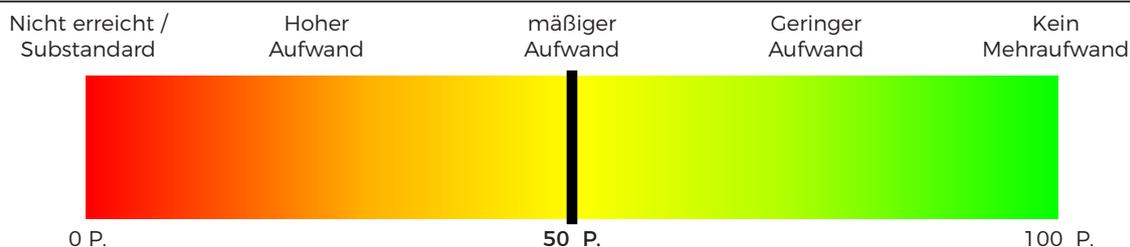


Abbildung 4: Bodenaufbau

Schallschutz

Die vergleichsweise relativ schlechten Schallschutzwerte eines reinen Holzbaus, besonders hinsichtlich des auftretenden Trittschalls, werden beim LCT ONE durch den durchdachten Einsatz hybrider Deckenelemente weitestgehend neutralisiert. Dabei bildet die Betonschicht auf den BSH-Trägern die notwendige Masse, um die rechtlich geforderten Zielwerte zu erreichen. Die darüberliegende Trittschalldämmung verstärkt diese Wirkung zusätzlich.

Aufgrund der Nutzung des Gebäudes als Bürogebäude wurde außerdem ein Doppelboden installiert. Dieser dient hauptsächlich als weitere Installationsebene, reduziert jedoch auch den anfallenden Trittschall. Die Verwendung von Teppichböden hat ebenfalls eine dämpfende Wirkung.

Laut dem Hersteller erreichen die Deckenelemente ohne zusätzlichen Bodenaufbau einen Trittschallpegel von 80 dB und eine Luftschallpegel-Differenz von rund 50 dB.

Der Schallschutz der Wände bleibt in dieser Einzelstudie unbeachtet, da es sich um stützen- und wandfreie Räume handelt. Etwaige nichttragende Trennwände wären entsprechend der Notwendigkeit zu optimieren.



Abbildung 5: Der fertige Raum

Bewertung

Die Betonschicht auf den Brettschichtholzbalken hat zwei Hauptfunktionen. Zum einen erfüllt diese Schicht einen Teil der brandschutzmäßigen Erfordernisse, zum anderen dient diese als Masse für die Deckenelemente.

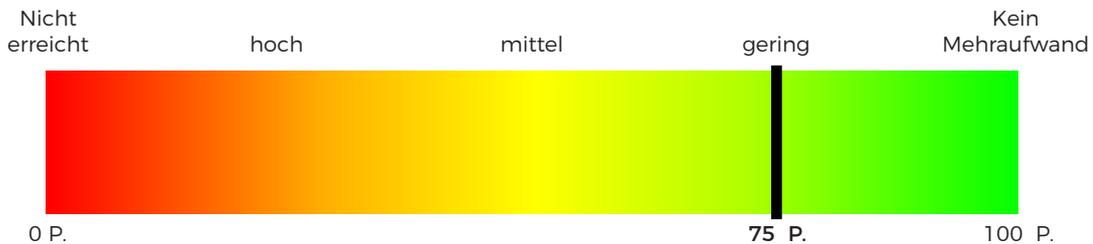
Die Herstellung bzw. Schalung der einzelnen Deckenelemente ist, verglichen mit anderen vorgefertigten Elementen, relativ komplex. Der Mehraufwand zur Erzielung der Schallschutzziele ist ab der fertigen Elemente nur mäßig, Durch die Multifunktionalität der Betonschicht relativiert sich der Aufwand, bezogen auf den Schallschutz, zusätzlich.

Durch den Einsatz werkproduzierter Verbundbauteile, abgehängter Decken sowie doppelter Böden ist diese Kategorie mit 50 P. zu bewerten.

Technische Faktoren

Brand:

Wie hoch ist der erzielte Brandwiderstand?
Mit welchem Aufwand ist die Erzielung dieses Wertes
verbunden?



Brandwiderstand und Maßnahmen

Das zentrale Thema im Holzbau ist und bleibt der Brandschutz. Es herrscht dabei oft Skepsis. Die Brennbarkeit des Holzes ist fest in den Köpfen der Menschen verankert, weshalb in der Regel im mehrgeschossigen Holzbau sämtliche Oberflächen von tragenden Holzelementen eingekapselt werden.

Beim LCT ONE wurde jedoch ein anderer Weg zur Lösung der Frage des Brandschutzes gewählt. Hier blieben die Holzoberflächen weitestgehend sichtbar. Um sich die aufwändige Kapselung der Bauteile zu sparen, werden jedoch andere Maßnahmen in Konstruktion, Haustechnik, in der Ausgestaltung der Fluchtwege und der Warnsysteme notwendig. Aber auch die Gefahr versteckter Brände in den eingekapselten Hohlräumen wird vermieden.

In einem Testlabor wurden fünf Testreihen nach dem Eurocode 4 abgehalten. Die Deckenelemente verfügen nachweislich über einen Feuerwiderstand von zwei Stunden (REI 120). Die Querschnitte der BSH-Träger verringerten sich bei den Versuchen um 0,65mm/min. Die nach dem Abbrand verbliebenen Querschnitte verfügten dabei noch über genügend Tragfähigkeit.

Nicht gekapselte Bauteile stellen dabei immobile Brandlasten dar, wodurch von einem erhöhten Brandrisiko ausgegangen wird. Um diesem Herr zu werden, wurde im LCT ONE auf den Einsatz von Sprinklern und Brandmeldern gesetzt. Sie befinden sich in jedem Büro. Die Sprinkleranlagen lösen ab einer Temperatur von 68° C aus und sind über Sensoren mit der Feuerwehr verbunden. Diese kann dadurch den Brand im Gebäude sofort lokalisieren und gezielt löschen.

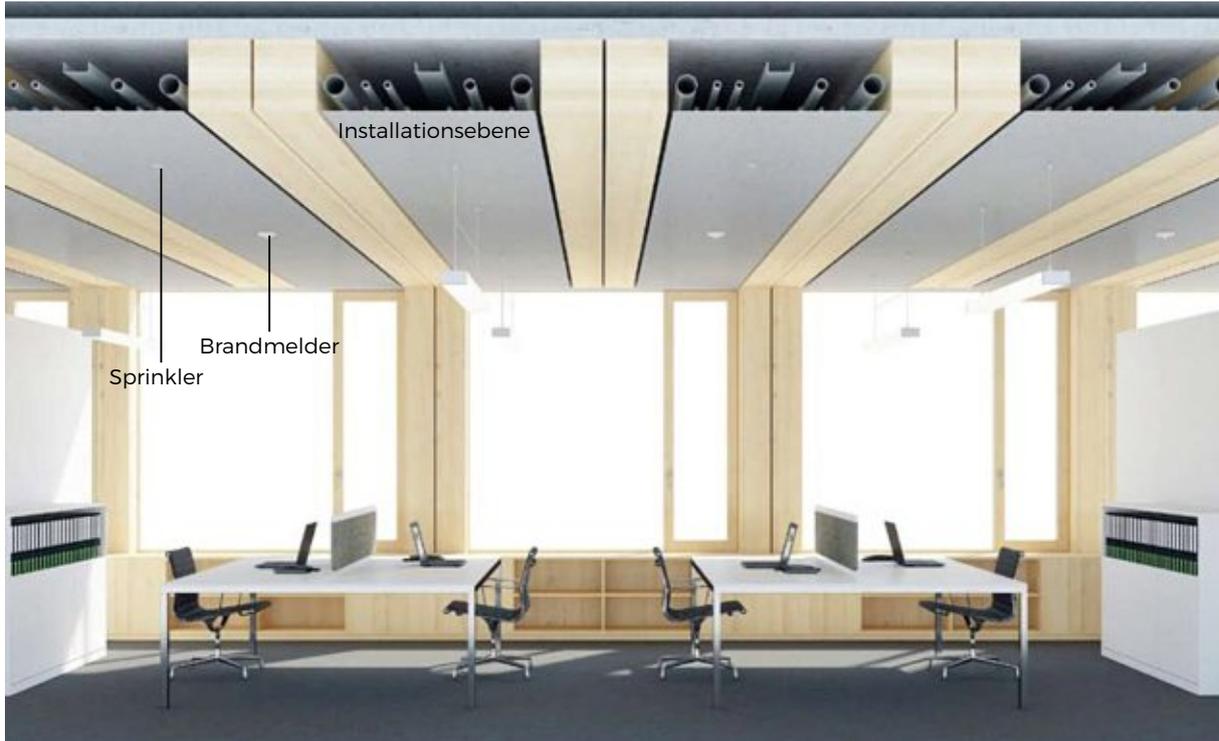


Abbildung 6: Schaubild - Schnitt durch die Installationsschicht der Deckenelemente

Die tragenden Stützen sind, ähnlich den Balken in den Rippendeckenelementen (entsprechend der notwendigen Brandwiderstandsdauer) so überdimensioniert, dass auch im Brandfall die Tragfähigkeit so lange wie möglich gegeben ist.

Die querverlaufenden Randbalken sowie die Schicht aus Stahlbeton verhindern als nichtbrennbare Barriere den vertikalen Brandübertritt in das darüberliegende Geschoss.

Bewertung

Die erzielten Widerstandswerte sind sehr hoch und durch die Einsparung der Einkapselung mit relativ geringem konstruktiven Mehraufwand verbunden. Es entsteht dafür im Bereich der Haustechnik, durch die Installation der Sprinkleranlagen, sowohl ein technischer als auch monetärer Mehraufwand. Jedoch ist die schlichte Überdimensionierung von Bauteilen gemäß des erforderlichen Abbrandes wohl die einfachste aller Methoden des Brandschutzes im Holzbau.

Insgesamt ist der Brandwiderstand des LCT ONE als hoch einzustufen. Geschuldet durch seine geringe Bauhöhe sind aber die Anforderungen gegenüber höheren Bauwerken andere. Weshalb der Aufwand im Vergleich zu den wesentlich höheren Vergleichsobjekten als gering bewertet und mit 75 P. vergütet wird.

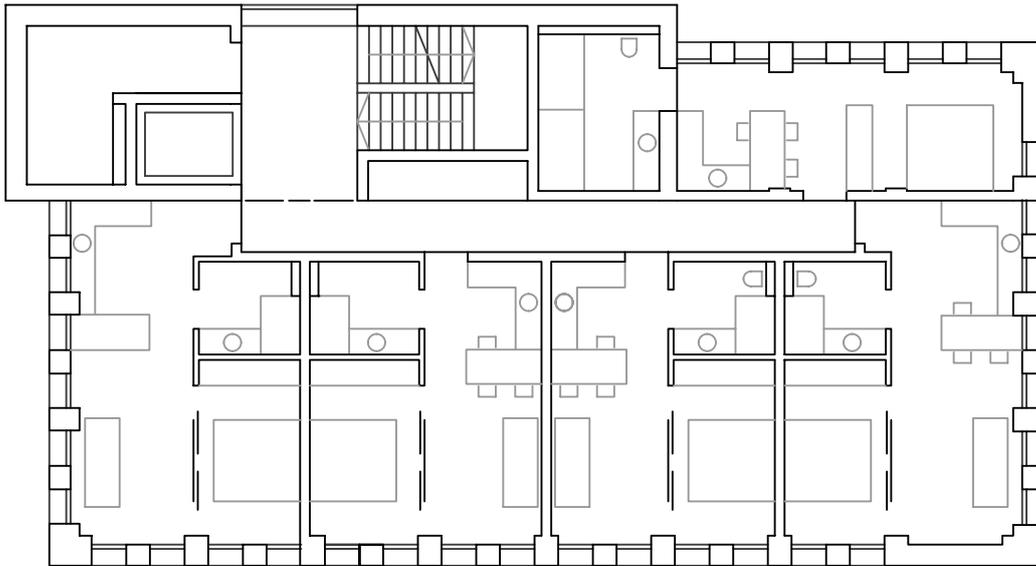


Abbildung 8: Regelgeschoss - Nutzungsvariante mit Kleinstwohnungen

Bewertung

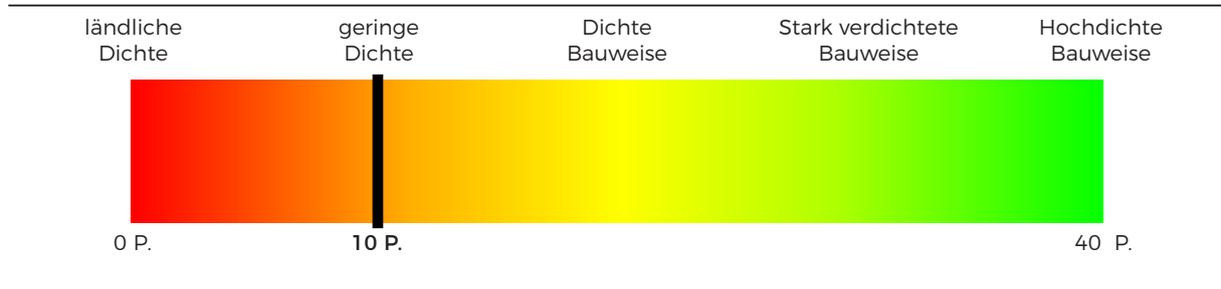
Die Umnutzbarkeit des LCT ONE ist durch die von Anfang an gewünschte Flexibilität der Nutzung des Bauherren gegeben. Durch die stützenfreien Räume mit einer Tiefe von 8,1 m ist ohne weiteres eine Wohnnutzung möglich. Dies beweist Hermann Kaufmann mit der in Abbildung 8 ersichtlichen Nutzungsvariante.

Natürlich kann die Nutzung nicht ohne jegliche Maßnahmen einfach so geändert werden, jedoch sind diese verglichen mit den notwendigen Maßnahmen in einem Gebäude in Schottenbauweise als sehr gering zu beurteilen. Die Umnutzbarkeit für den LCT ONE ist deshalb als gegeben beurteilt und mit der maximalen Punktzahl von 40 P. bewertet.

Wirtschaftliche Faktoren

Verdichtete Bauweise:

In welcher städtebaulichen Dichte wurde das Gebäude ausgeführt?



Dichte der Bauweise

Der LCT ONE ist mit seiner Bauhöhe von knapp 27 m in Österreich nicht als Hochhaus einzustufen. Die 1.765 m² Nutzfläche verteilen sich auf die acht oberirdischen Geschosse. Ein nicht unwesentlicher Teil von 17,3 % des Regelgeschosses besteht dabei aus Erschließung und Haustechnik.

Mit einer Geschossflächenzahl (GFZ) von knapp 2,5 liegt der LCT ONE in einer vergleichbar geringen städtebaulichen Dichte.

Bewertung

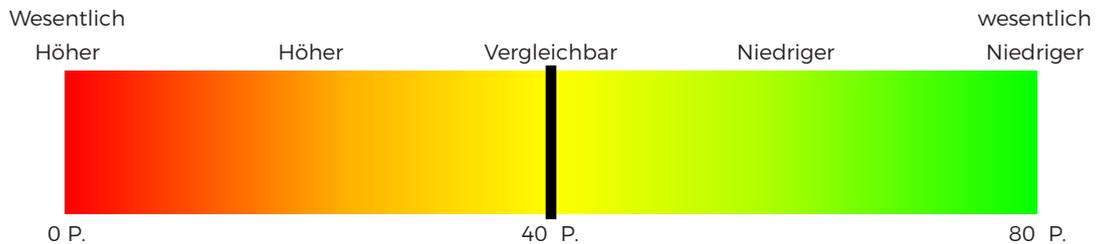
Vergleicht man die GFZ des LCT ONE mit der durchschnittlich erzielten GFZ der Gründerzeit in Wien, liegt diese nur im unteren Bereich. Innerstädtische (innerhalb des Gürtels) Gründerzeithäuser bewegen sich rund um eine GFZ von 4,0.

Obwohl der LCT ONE eine vertikale Bauweise aufweist, ist die Dichte verglichen mit anderen urbanen Gebäuden, insbesondere Hochhäusern, nur als gering einzustufen und mit 10 P. zu beurteilen.

Wirtschaftliche Faktoren

Kosten:

Wie hoch sind die Kosten gegenüber einem konventionell
(in Stahlbeton o. Stahl) errichteten Hochhaus?



Kosten

Der LCT ONE wurde im Jahr 2012 nach der vorangegangenen Studie „8+“ von Michael Schluder und Peter Krabbe errichtet. Die Studie kam zu dem Schluss, dass auch ein Holzhochhaus mit bis zu 20 Geschossen möglich gewesen wären, aufgrund der Brandschutzvorschriften und der Neuheit des Bautypus wurde entschieden das Gebäude auf 8 Geschosse zu begrenzen.

Auftraggeberin und Nutzerin des Gebäudes war das Unternehmen Cree, welches eine Tochtergesellschaft des Vorarlberger Bauunternehmens Rhomberg ist. Die Gesamtbaukosten des LCT ONE belaufen sich auf rund EUR 4,5 Mio., was einem Quadratmeterpreis von rund EUR 2.550 entspricht. Gegenüber einem klassischen Stahlbetonbau können die Kosten als leicht erhöht betrachtet werden. Diese sind insbesondere auf die erhöhten Materialpreise und den Innovationscharakter zurückzuführen, jedoch können auch positive Kosteneffekte dadurch erzielt werden, dass durch die Art der Deckenelemente keine abgehängten Decken erforderlich waren, was Einsparungen in Raumhöhe und der teuren Fassade ermöglichte. Insgesamt ist auf dieser Basis davon auszugehen, dass die Baukosten gegenüber einem konventionell errichteten LCT ONE lediglich um rund 3 % erhöht sind.

Bewertung

Gemäß den oben beschriebenen Punkten kann in dieser Detailkategorie die Bewertung mit 40 P. als gerechtfertigt betrachtet werden.

Wirtschaftliche Faktoren

Vorfertigung

Wie hoch ist der Vorfertigungsgrad des Gebäudes?

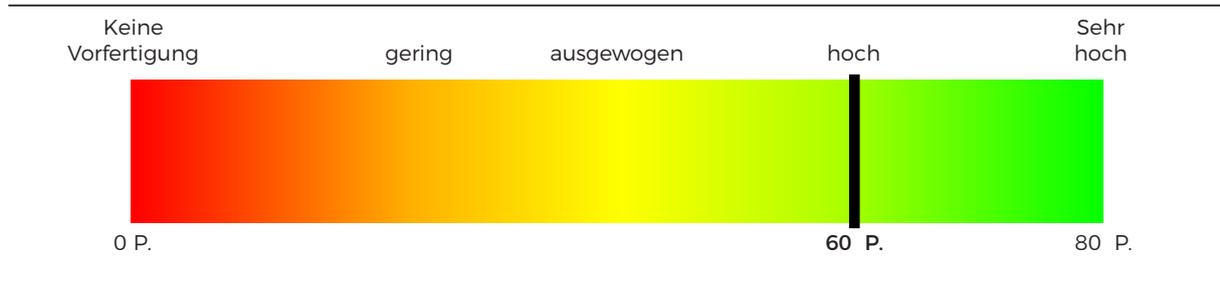


Abbildung 9: Konstruktionschema

Grad der Vorfertigung

Mit Ausnahme des Betonfundaments und des Erschließungskerns, wurden sämtliche Bauteile des LCT ONE vorgefertigt, stichtagsgenau auf die Baustelle geliefert und noch am selben Tag montiert.

Bewertung

Der Vorfertigungsgrad für den LCT ONE ist als hoch einzustufen und mit 60 P. bewerten. Da auch der aussteifende Kern des Gebäudes in vorgefertigter Bauweise denkbar wäre, könnte diese Wertung noch verbessert werden.

Wirtschaftliche Faktoren

Vorfertigung

Wie komplex/aufwendig sind die vorgefertigten Teile? Wie wirkt sich dies auf die Fertigung und die Montage der Teile aus?

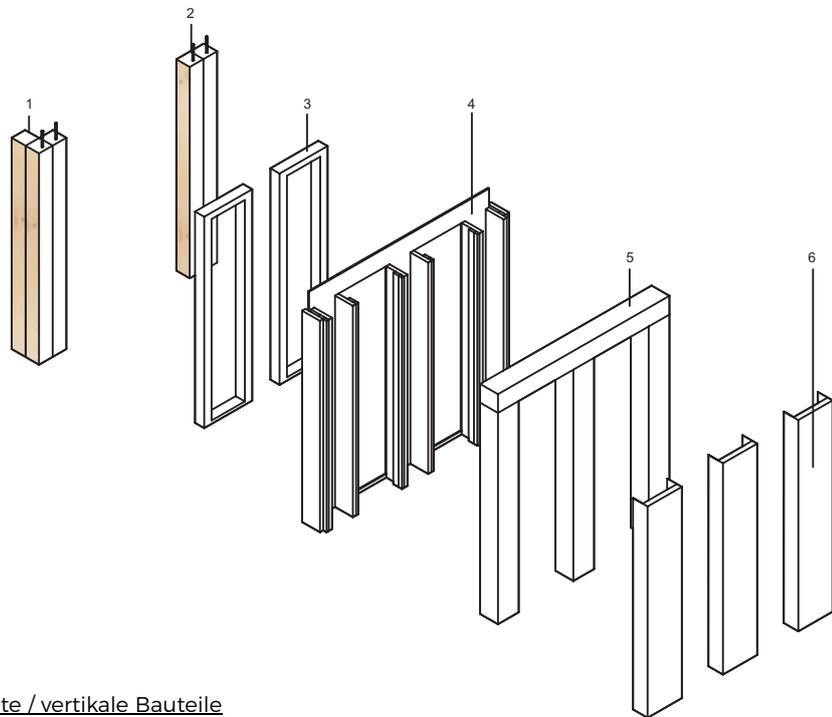
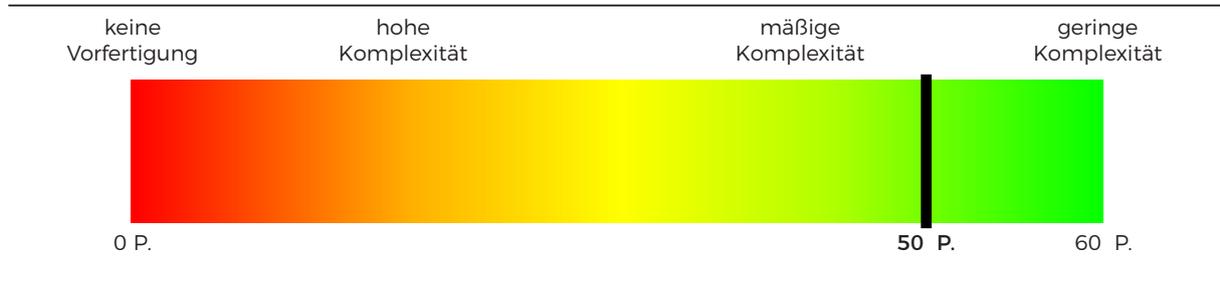


Diagramm Fassadenelement

- 1 Brett-schichtholz-Stützen
- 2 Anschlusspunkte aus Stahl
- 3 Fensterrahmen
- 4 Grobspanplatte
- 5 Betondecke
- 6 Aluminiumfassade

Abbildung 10: Fassadenelemente / vertikale Bauteile

Fassadenelemente

Die innerste Schicht der Fassadenelemente besteht aus vertikalen BSH-Doppelstützen mit einem Querschnitt von 240 x 240 mm. Diese wurden in einem Abstand von 2,7 m angeordnet. Die rahnenförmige Verkleidung wurde aus Grobspanplatten mit Holzwerkstoffpfosten zu einem Holzrahmen verbunden und mit mineralischer Dämmung ausgestopft. Die Fugen wurden anschließend luftdicht verklebt. Zum Schluss erfolgte das Einpassen der Fenster. Um mögliche Schäden an der Aluminiumfassade durch den Transport zur Baustelle zu minimieren, wurde diese erst vor Ort montiert.

Die Fassadenelemente unterscheiden sich im Wesentlichen nicht von handelsüblichen Tafелеlementen.

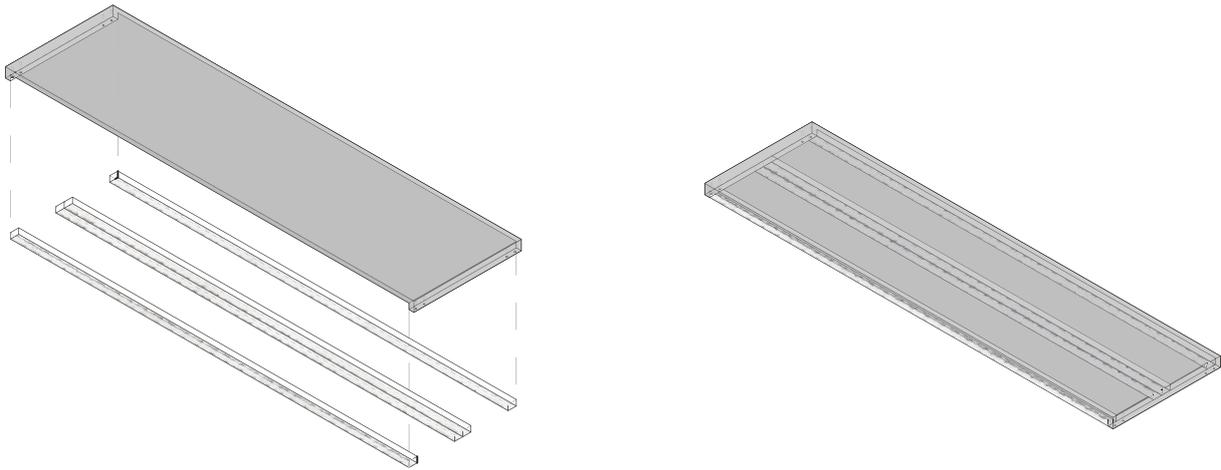


Abbildung 11: Deckenelemente

Verbunddeckenelemente

Zur Fertigung der Verbunddecken wurden zunächst die mit Verbundschrauben sowie Ausfräsungen präparierten BSH-Balken angeordnet und auf den Schalungstisch gelegt (1). Im nächsten Schritt wurde die notwendige Bewehrung und die Rohre für die Löcher an den Ecken eingepasst (2). Danach wurde die Schalung rund um den Schaltisch abgedichtet und mit Ortbeton gefüllt (3). Weiters wurde der Beton verdichtet und abgezogen (4). In der letzten Etappe wurde das Bauteil ausgeschalt und bis zum Abtransport zwischengelagert (5).

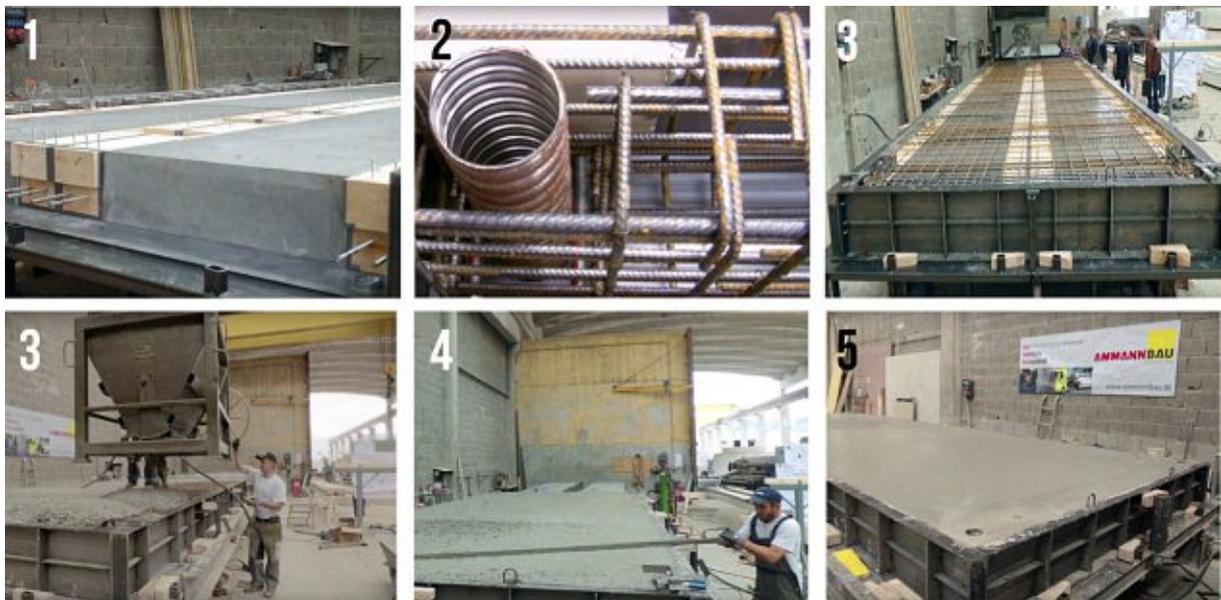


Abbildung 12: Fertigungsprozess der Verbunddeckenelemente

Komplexität der Bauteile

Die Fassadenelemente gleichen in ihrem Aufbau, sowie Fertigungsprozess im Wesentlichen gewöhnlichen Wandelementen, wie diese seit Jahren bereits in Fertigteilhäusern zur Anwendung kommen.

Die Verbunddeckenelemente wurden jedoch eigens für das Baukastensystem von Cree entwickelt. Dadurch musste der Fertigungsprozess eigens konzipiert werden. Die Herstellung eines solchen Elements benötigt einen speziell hergestellten Schaltisch. Die Arbeiten rund um die BSH-Balken erfolgen natürlich computer- und maschinenunterstützt - anders wäre die geforderte Präzision auch nicht erzielbar. Die Herstellung ist jedoch, verglichen mit einer schlichten Holzrippen-, bzw. Massivholzdecke wesentlich aufwendiger und komplexer.

Komplexität der Montage

Die Montage ist aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades, einer enormen Präzision (eine Toleranz von weniger als 1 mm), den wenigen verschiedenen Einzelteilen sowie der hohen Repetitivität für geschultes Personal sehr einfach handzuhaben. Dies ermöglicht, bei einer gewissen Vorlaufzeit zur Produktion der Elemente, eine stark verkürzte Bauzeit.

Bewertung

Da die Fassadenelemente den vergleichsweise häufig verbreiteten Wandelementen im Fertighausbau gleichen, ist damit für beinahe jede Zimmerei die Herstellung mit wenig Aufwand denkbar.

Für die Fertigung der Verbunddeckenelemente benötigt es jedoch besondere Hilfsmittel. Nicht umsonst bietet das Unternehmen Cree eigens zur Fertigung der Elemente ein umfangreiches Schulungsprogramm an. Die Herstellung dieser Elemente ist mit einem erhöhten Aufwand und Komplexität verbunden.

Die Montage vor Ort ist dafür äußerst unkompliziert und kann von wenigen Personen mit einem Kran und einfachem Werkzeug bewerkstelligt werden.

Insgesamt ist die Fertigung und Montage deshalb mit „mäßiger Komplexität“ zu beurteilen. Obwohl die Herstellung der Verbunddecken durchaus im Vorlauf mit Mehraufwand verbunden ist, ist die Herstellung der Fassadenelemente sowie der anschließenden Montage im Vergleich simpel.

Die Komplexität der Bauteile wird mit 20 P. bewertet. Die Komplexität der Montage ist gering und wird mit 30 P. bewertet. Insgesamt erzielt der LCT ONE in dieser Kategorie deshalb mit 50 P.

Wirtschaftliche Faktoren

Projektlaufzeit

In welchem Zeitrahmen konnte das Gebäude errichtet werden? Konnte durch innovative Baumethoden Zeit eingespart werden?

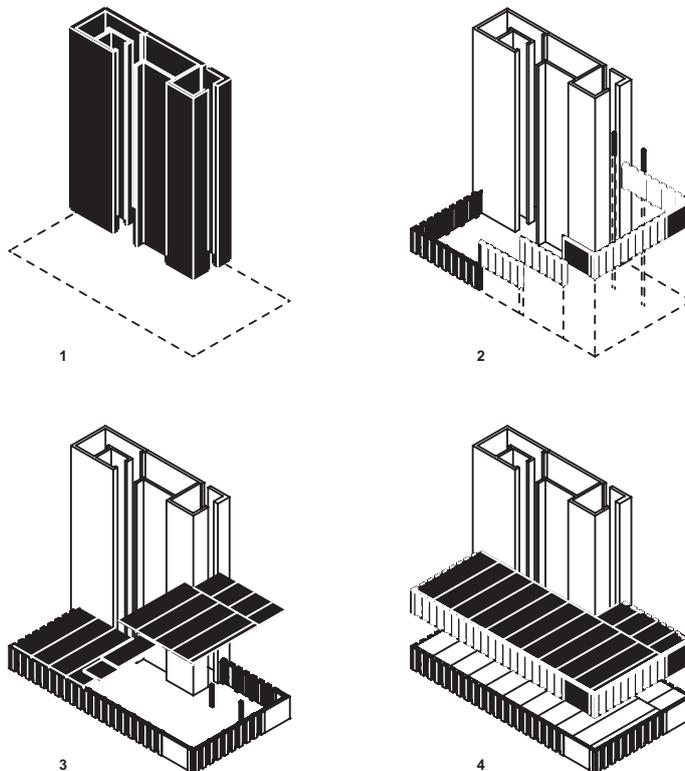
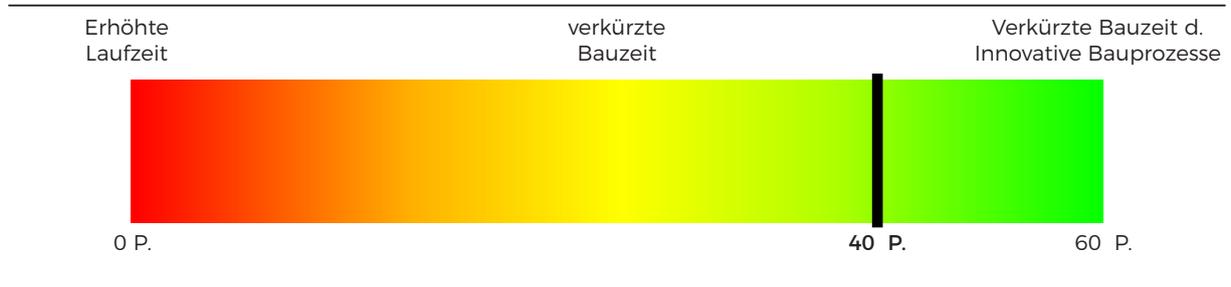


Abbildung 13: Bauphasen Schema

Bauablauf und Bauzeit

Der Baustart erfolgte im September 2011. Zuerst wurde das Betonfundament geschaffen und anschließend der Erschließungskern in voller Höhe hergestellt (1). Gruppenweise wurden die vorgefertigten Wandplatten zuerst auf das Fundament (2) bzw. in den oberen Etagen auf die Verbunddecken platziert (3). Die Wandelemente wurden in die Löcher an den Ecken jedes Deckenelements eingeführt, dies erleichterte die exakte Platzierung der Bauteile.

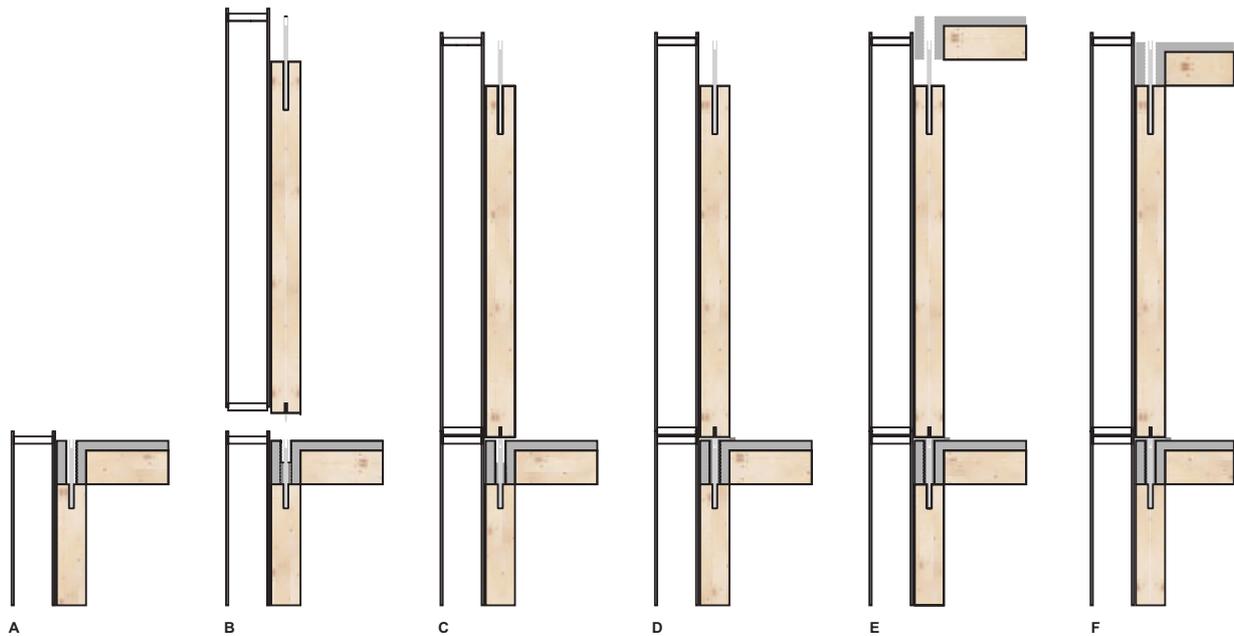


Abbildung 14: Bauablauf des Baukastensystems Wand-Deckenverbindung

Der Bauablauf des Baukastensystems funktioniert dabei immer gleich. Im ersten Schritt wird das Verbunddeckenelement auf die Stütze des Fassadenelements platziert (A). Das Wandelement der nächsten Etage wird mittels Kran über dem Loch herabgelassen und auf das Stahlrohr gesetzt (B). Sobald dieses in der richtigen Position sitzt, wird die Wandscheibe mit temporären Maßnahmen gesichert (C). Der Hohlraum wird mittels nicht schwindendem Mörtel verfüllt (E). Dies stellt eine Methode dar, um die beiden Elemente fest miteinander zu verbinden. Über einen Kran werden, sobald der Prozess für das gesamte Geschoss abgeschlossen ist, die Deckenelemente entsprechend der Löcher in die dafür vorgesehenen Stellen gehoben (E). Ab diesem Punkt wiederholt sich der Prozess (F).

Nach Fertigstellung des Stahlbetonkerns benötigte ein geschultes Team bestehend aus fünf Monteuren nur acht Tage für die komplette Montage der vorgefertigten Elemente. Das entspricht einer Etage pro Tag. Die durchschnittlichen Montagezeit an einem Tag betrug lediglich fünf Stunden, dabei ist die Verbindung der Elemente, die Verfugung und die Abdichtung schon inkludiert. Die Montage eines Elements konnte in 10 Minuten bewerkstelligt werden. Das Gebäude wurde schließlich im November 2012 nach knapp einem Jahr Bauzeit eröffnet.

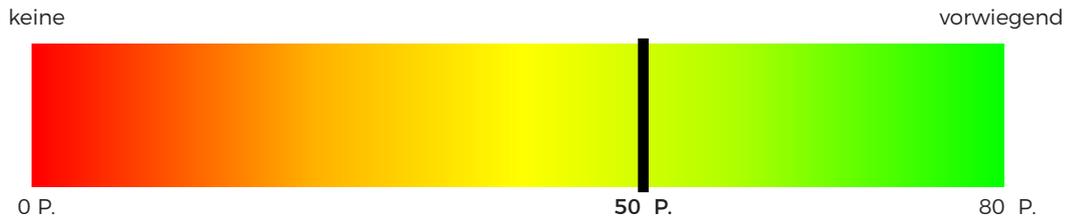
Bewertung

Durch das eigens entwickelte Baukastensystem konnte bewiesen werden, dass durch den hohen Grad an Präzision, maschinell vorgefertigte Bauteile, in Verbindung mit einem durchdachten Planungsprozess- und Bauprozessmanagement, und einem koordinierten Montageteam eine erhebliche Zeitersparnis möglich ist. Der Holzbau konnte somit in acht Tagen fertiggestellt werden. Durch den Einsatz von Vollfertigteilen, einfachen Bauteilverbindungen und BIM werden in dieser Kategorie 40 P. vergeben.

Hybride Faktoren

Nachhaltigkeit

Wurde bei dem Bau des Holzhochhauses darauf Wert gelegt nachhaltige Baustoffe zu verwenden?



Nachhaltigkeit der eingesetzten Baustoffe

Das vorwiegend verwendete Material im LCT ONE ist regionales Holz. Dieses findet sich sowohl im Tragwerk, als auch in den vielen Oberflächen wieder. Für die Produktion des Brettschichtholzes wurde die heimische Fichte verwendet. Es ist, sollte das Baukastensystem andernorts verwendet werden, je nach Region aber durchaus denkbar andere lokale Hölzer zu verwenden um eine möglichst nachhaltige Lösung zu schaffen.

Komplettiert wird die Tragkonstruktion durch den Einsatz von Beton und Stahl. Diese sind aber aufgrund ihrer vergleichsweise schlechten CO₂ Bilanz auf ein Minimum reduziert.

Für die Fassade des LCT ONE wurde recyceltes Aluminium verwendet. Denn nach Auffassung des Bauherren ist das „Urban Mining“ (Gewinnung von Rohstoffen aus Schrott und Schutt) eine nachhaltige Alternative zur oft teuren und schmutzigen Gewinnung finiter Rohstoffe. Bei der Dämmung des Gebäudes wurde aufgrund der Brandverhütungseigenschaften auf Mineralwolle gesetzt. Durch die Optimierung der Materialien konnten die eingesetzten Ressourcen im LCT ONE um bis zu 50 % reduziert werden.

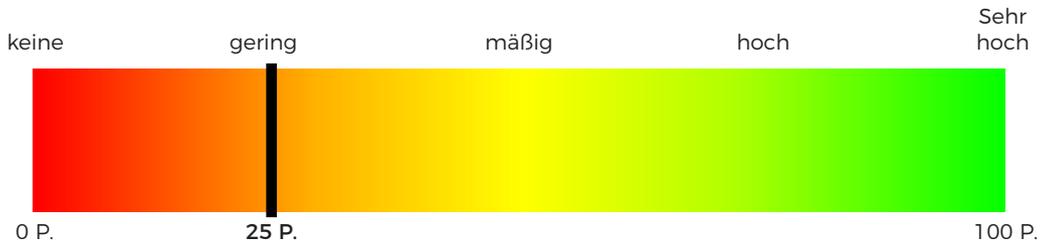
Bewertung

Im gesamten Bauwerk wurde sehr großen Wert auf die Verwendung nachhaltiger Baustoffe gesetzt. Für die in der CO₂-Bilanz normalerweise schlecht abschneidenden Aluminiumelemente der Fassade, wurde auf recyceltes Aluminium gesetzt. Der Einsatz von Beton und Stahl wurde eingeschränkt - der Einsatz lässt sich aber in der hybriden Bauweise nicht komplett vermeiden. Für den Einsatz von regionalen Baustoffen, dem vermehrten Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen im Tragwerk, dem Einsatz von Recyclingmaterialien und der Verwendung von Holz als sichtbares Element im Bauwerk werden in dieser Detailkategorie 50 P. vergeben.

Hybride Faktoren

Nachhaltigkeit

Wie viele CO₂-Äquivalente konnten durch den Bau dieses Holzhochhauses eingespart werden?



Eingesparte CO₂-Äquivalente

Nach der Optimierung des Gebäudes hinsichtlich dem Energieverbrauch, Arbeits- und Materialeinsatz konnte der LCT ONE seine CO₂ Bilanz gegenüber einem konventionellen Stahlbetonbau um 90% reduzieren.

Darin inkludiert sind alle Emissionen die durch Fertigung, Transport, Bau und Betrieb (ausgelegt auf eine Nutzungsdauer von 50 Jahren) sowie Rückbau und Entsorgung entstanden sind bzw. prognostiziert werden.

Vor allem das eingesetzte Holz von rund 280 m³ in Form von BSH, welches als Kohlenstoffspeicher fungiert, hat einen wesentlichen, Beitrag dazu geleistet, dass die CO₂-Bilanz grundsätzlich positiv ausfällt.

Bewertung

Einerseits werden durch die hybride Bauweise zwar wesentlich weniger Emissionen freigesetzt als bei konventionellen Massivbauten, verglichen mit reinen Holzbauten schneidet der LCT ONE jedoch schlechter ab. Die Einsparung von CO₂-Äquivalenten beim LCT ONE wird auf der Basis von BSH berechnet, da das im LCT ONE verbaute Holz ausschließlich aus BSH besteht. Anhand dieser Kalkulation wird eine Ersparnis von rund 78 kg CO₂ Äq./ m² BGF erzielt. Aufgrund des relativ hohen Anteils an Beton (verglichen mit anderen Holzbauwerken) werden deshalb in dieser Detailkategorie lediglich 25 P. vergeben.

Hybride Faktoren

Materialkreislauf

Gibt es für dieses Holzhochhaus ein Rückbaukonzept?
Wie recycelbar ist das Gebäude?

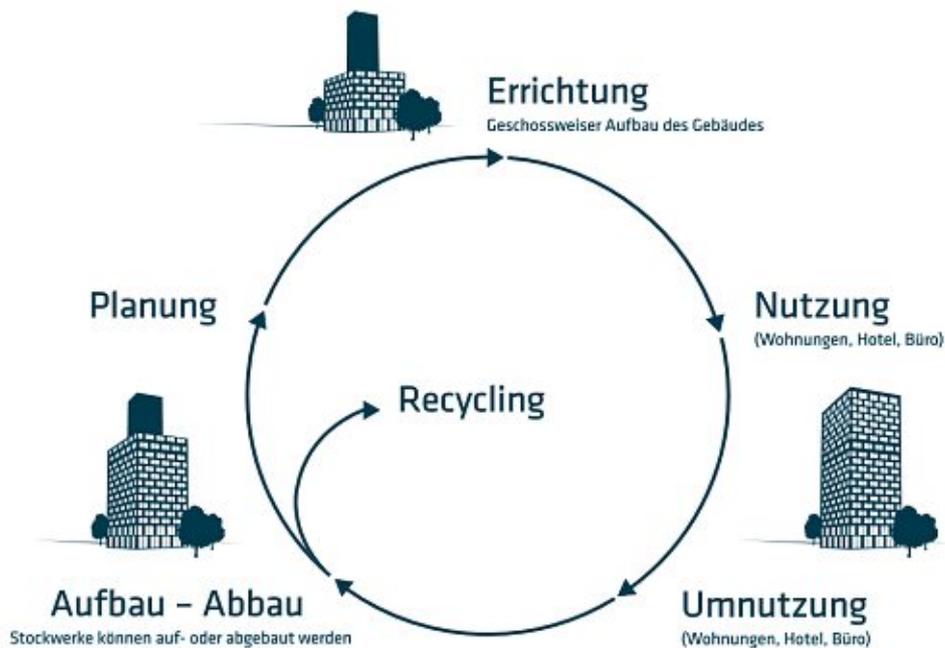
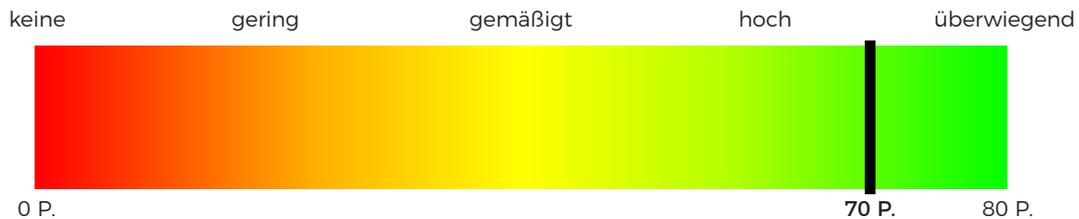


Abbildung 15: Lebenszyklus LCT

Rückbaukonzept & Recyclierbarkeit

Wie der Name bereits suggeriert, wurde beim LCT ONE der gesamte Lebenszyklus bereits von Anfang an mitgedacht und mitentwickelt. Der LCT ONE soll durch die Lebenszykluskonzeption möglichst flexibel auf geänderte Gegebenheiten reagieren können und schafft durch stützenfreie Räume und einer Raumhöhe von 2,8 m die Möglichkeit einer relativ einfachen Umnutzung.

Wird das Ende des Lebenszyklus erreicht, war es in der Entwicklung besonders wichtig, dass das Gebäude auch gut rückbaubar ist. Das heißt, eine Demontage der Elemente und auch eine Zerlegung des Systems ist grundsätzlich möglich.

Im gesamten Projekt wurde auf geklebte Verbindungen verzichtet, um eine Demontage zu ermöglichen. Die Leimbinder der Verbunddeckenelemente sind über Schrauben und Schubkerven mit dem Beton verbunden. Das Hirnholz der Pendelstützen steht direkt auf dem Betonsturz der Deckenelemente. Diese wurden über den Dorn mittels schubfestem Mörtel bauseits mit den Deckenelementen verbunden.

Diese Verbindungen sind vergleichsweise einfach wieder zu lösen. Auch wurde die Trennbarkeit der Verbindungen in einem zweigeschössigen Versuchsgebäude, woran die Rückbaubarkeit des System getestet wurde, nachgewiesen.

Der Dorn wird exakt lokalisiert und kann dann herausgebohrt werden. Komplexer ist jedoch die Trennung der Vergussfugen zwischen den Deckenelementen, aber auch diese sind über Trennschleifer voneinander lösbar.

Dadurch, dass die verbauten Hölzer komplett ohne chemischen Holzschutz auskommen, ist die Recycelbarkeit bzw. Verwertung des Holzes nach Ende der Lebensdauer bei ordentlichem Rückbau zu 100 % gewährleistet.

Bewertung

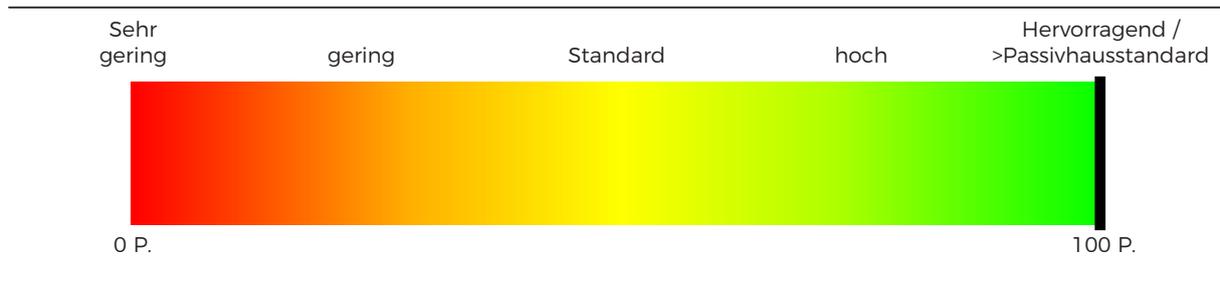
Die Umnutzbar- und Rückbaubarkeit sind zwei Kernthemen des Konzeptes. Dass der LCT ONE in diesen Bereichen punkten kann, liegt aber nicht nur an der reinen Konzeption, denn die Rückbaubarkeit des Systems wurde anhand eines Versuchs bestätigt. Die Zerstörungsfreiheit in der Demontage und die Wiederverwertung der Systembauteile in einem anderen Projekt ist aufgrund der mörtelbasierten Verbindungen jedoch zu hinterfragen. Der aussteifende Stahlbetonkern wird in sämtlichen Publikationen jedoch gerne verschwiegen - dieser ist nicht so leicht rückbaubar, und die Teile können dem Recyclingkreis nur mehr als Schutt wieder zugeführt werden.

Alles in allem kann der LCT ONE aufgrund seines vorhandenen Rückbaukonzeptes, seiner zum Großteil recyclingfähigen Materialität, der überwiegend zerstörungsfreien Demontage und dem Verzicht auf erdölbasierte Dämmstoffe ein insgesamt gutes Ergebnis mit 70 P. erzielen.

Hybride Faktoren

Energieeffizienz

Wie energieeffizient ist das Gebäude im laufenden Betrieb?



Energieeffizienz

Betrachtet man die Kosten eines Gebäudes über seinen gesamten Lebenszyklus hinweg, so übersteigen die im Betrieb anfallenden Kosten die Baukosten oft um ein Vielfaches. Dies, sowie die nachhaltige Verbesserung der CO₂-Bilanz, waren die Haupttriebkraft, den LCT ONE als Passivhaus zu planen und zu errichten. Die Außenhaut ist deshalb mit einer 32 cm starken Dämmschicht aus Mineralwolle versehen. Beim Dämmen gegen das Erdreich wurde klassischerweise auf die robuste EPS-Dämmung zurückgegriffen. Alle Fenster sind mit einer 3-Scheibenverglasung ausgestattet.

Automatisierung

Ein wichtiger Bestandteil ist auch die Automatisierung des Gebäudes. Die Klimaanlage sowie die Heizung schalten sich automatisch ab, wenn ein Fenster geöffnet wird. Auch der Sonnenschutz wird je nach Einstrahlung automatisch reguliert. Die Lichtsteuerung erfolgt präsenzabhängig, was zu jeder Zeit für optimale Lichtverhältnisse im Innenraum sorgt. Die zwischen den BSH-Balken verlaufenden Heiz-Kühl-Paneele unterstützen zudem die automatische Be- und Entlüftung durch Wärmerückgewinnung. Durch Sensoren wird die Lüftung abhängig von der Luftqualität gesteuert.

Bewertung

Durch die Entwicklung des LCT ONE als Passivhaus ist der Gebäudebetrieb nicht nur besonders kapitalschonend, sondern zudem durch Automatisierung und hervorragende Dämmwerte äußerst umweltschonend. Durch die Automation wird zudem das unvorhersehbare Nutzerverhalten, welches großen Einfluss auf die Gebäudeperformance nimmt, abgedeckt.

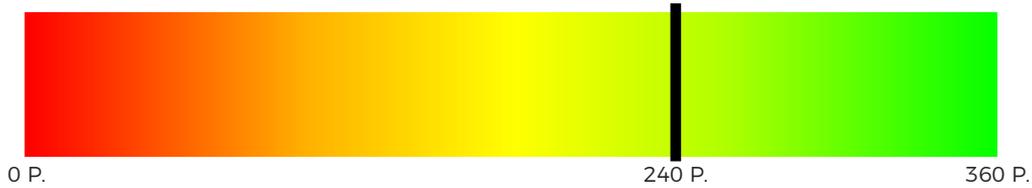
Aufgrund dessen kann in dieser Kategorie die volle Punktzahl vergeben werden.

LIFECYCLE TOWER ONE
GEBÄUDEPERFORMANCE

Technische Performance



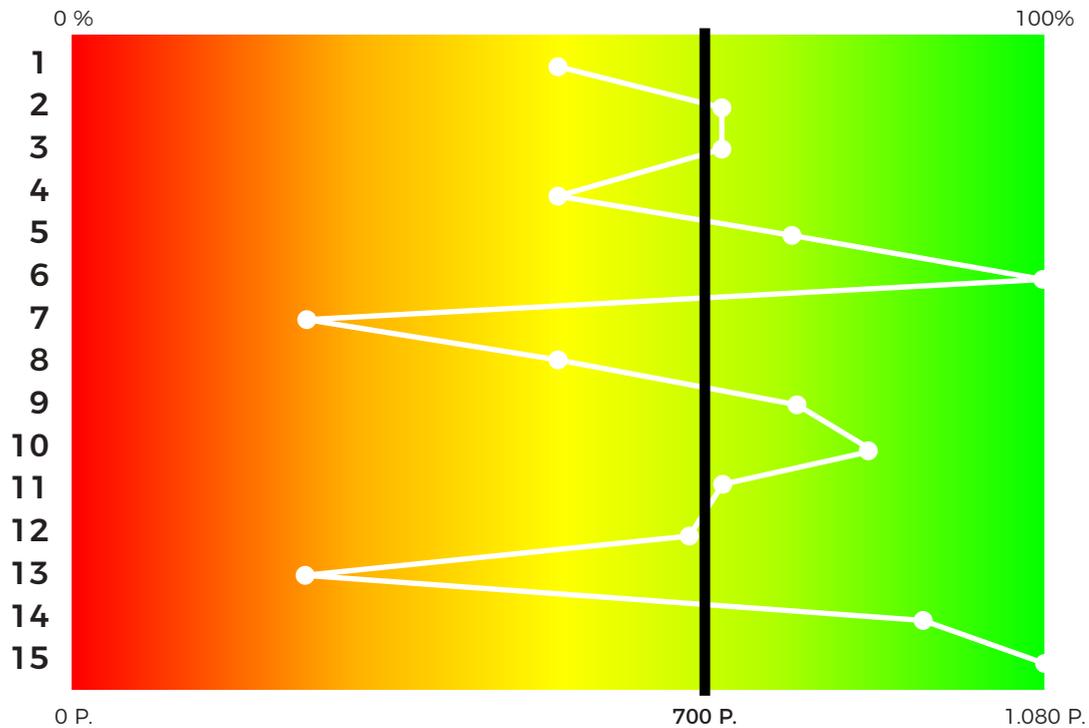
Wirtschaftliche Performance



Hybride Performance



Gesamtperformance



Ergebnis

Der LCT ONE kann als das erste Herantasten an das Thema Holzhochhäuser verstanden werden. So ist er, nach der österreichischen Rechtslage, weder ein Hochhaus, noch ist er zur Gänze - jedoch durchaus aus einem nicht unbeachtlichen Teil - aus Holz. Insgesamt kann der LCT ONE aber seiner Rolle als Prototyp und Vorreiter des neuen Gebäudetypus Holzhochhaus durchaus in vielen Punkten gerecht werden. In vielen Bereichen schneidet er durchaus gut ab, wodurch er eine Gesamtbewertung von 700 Punkten erzielen kann. Wie jedes Projekt verfügt auch dieses über Stärken und Schwächen, die nachfolgend zusammenfassend dargestellt werden.

Stärken

- Hoher Vorfertigungsgrad und verkürzte Bauzeiten
- Keinerlei chemische Holzschutzmittel
- Verwendung nachhaltiger und regionaler Baustoffe (Holz, Holzwerkstoffe, recyceltes Aluminium, usw.)
- Umnutzung durch Stützenfreiheit und Raumhöhe relativ einfach möglich
- Holistischer Ansatz: Berücksichtigung des ganzen Lebenszyklus vom Bau bis zum Rückbau
- Nachweislich gute und einfache Rückbaubarkeit und hohe Recyclierbarkeit
- Hohe Energieeffizienz im Betrieb durch vorausschauende Planung und Automatisierung
- Das Holz bleibt im Gebäudeinneren sichtbar und spürbar

Schwächen

- Relativ hohe Komplexität und Aufwand zur Herstellung der Verbunddeckenelemente (Materialoptimierte Bauweise als Argument)
- Sehr hoher Flächenanteil an Erschließung und Haustechnik
- Für ein städtisches Hochhaus verfügt es über eine geringe Dichte
- Starke Planungseinschränkungen durch das vorgegebene, starre System

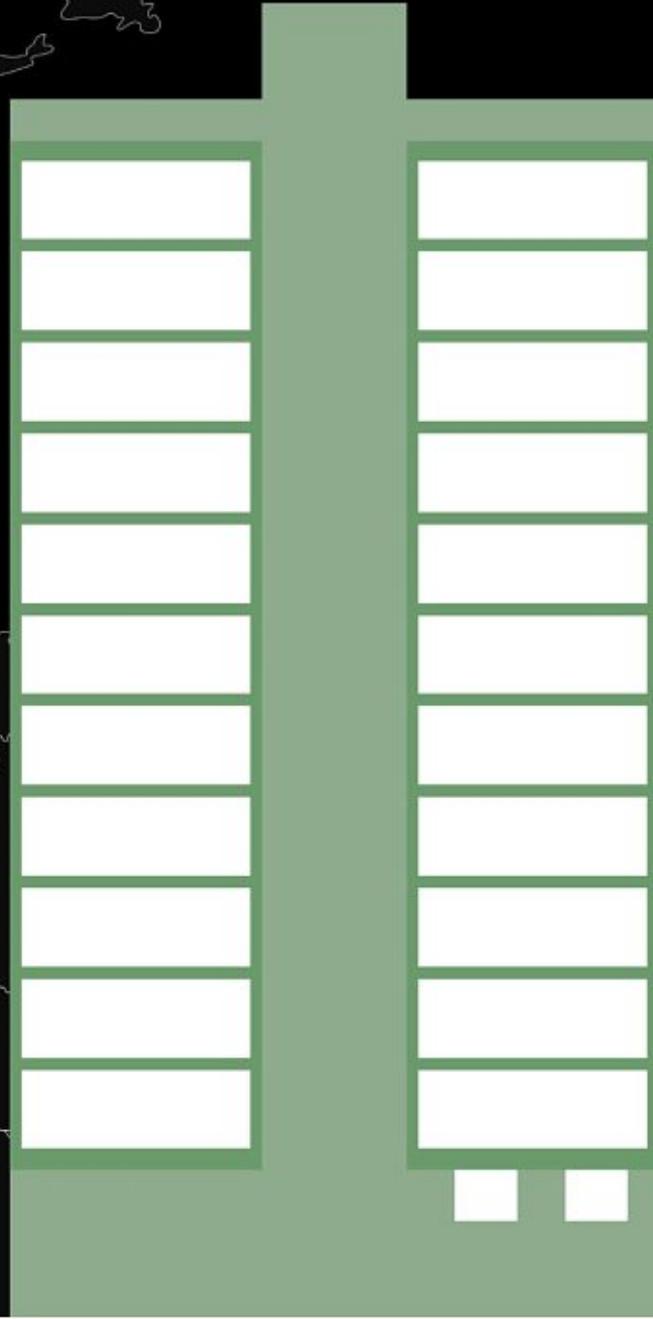
Quellenverzeichnis

Objektdaten	https://www.hkarchitekten.at/de/projekt/lct-one/ (11.02.2020)
Objektbeschreibung	https://woodforgood.com/case-studies/lct-one-(lifecycle-tower-one) (11.02.2020) GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017 www.creebyrhomborg.com/de/detail/lct-one-der-erste-lifecycle-tower-der-welt (11.02.2020)
Punkt 1	CREE , Building the Natural Change, ePaper, 2018, S. 14-19 GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 140-151
Punkt 2	LENNARTZ Marc Wilhelm, POLCH-RUITSCH, Nachhaltig in die Höhe, Mikago Magazin Heft 7, 2012, S. 23
Punkt 3	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 140-151
Punkt 4	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 140-151 www.creebyrhomborg.com/de/detail/lct-one-der-erste-lifecycle-tower-der-welt (13.02.2020) CREE , Building the Natural Change, ePaper, 2018, S. 14-19
Punkt 5	LENNARTZ Marc Wilhelm, POLCH-RUITSCH, Nachhaltig in die Höhe, Mikago Magazin Heft 7, 2002, S. 24-25
Punkt 6	https://www.hkarchitekten.at/de/projekt/lct-one/ (11.02.2020) LENNARTZ Marc Wilhelm, POLCH-RUITSCH, Nachhaltig in die Höhe, Mikago Magazin Heft 7, 2012, S. 21-22
Punkt 7	Osterreichische Gesellschaft für Architektur, Umbau 29: Umbau. Theorien zum Bauen im Bestand, Band 29 - Wien, Birkhäuser Verlag 2017 S. 95 https://www.hkarchitekten.at/de/projekt/lct-one/ (11.02.2020) KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Reiner; Detail Green 2012 Heft 2 S. 48
Punkt 8	ZANGERL M, KAUFMANN H, LifeCycle Tower Energieeffizientes Holzhochhaus mit bis zu 20 Geschossen in Systembauweise, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2010, S. 42
Punkt 9	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 149
Punkt 10	LENNARTZ Marc Wilhelm, POLCH-RUITSCH, Nachhaltig in die Höhe, Mikago Magazin Heft 7, 2002, S. 22-27 GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 140-151
Punkt 11	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 146; 149-151
Punkt 12	www.creebyrhomborg.com/de/detail/lct-one-der-erste-lifecycle-tower-der-welt (13.02.2020) LECHNER Robert et. Al; Nachhaltiges Bauen in Österreich; IBO - Weißbuch 2015, S. 30-32
Punkt 13	LENNARTZ Marc Wilhelm, POLCH-RUITSCH, Nachhaltig in die Höhe, Mikago Magazin Heft 7, 2002, S. 22
Punkt 14	https://www.db-bauzeitung.de/db-themen/technik/hoelzerner-grenzgaenger/ (20.02.2020) https://www.ogni.at/projekte/lct-one/ (20.02.2020) FORSTER Ulrich, Neue Prozesse im Holzbau - Bauen und Produzieren für zukünftige Märkte, Internationales Holzbau-Forum 2012, S. 5
Punkt 15	LECHNER Robert et. Al; Nachhaltiges Bauen in Österreich; IBO - Weißbuch 2015, S. 32-33

Abbildungsverzeichnis

Deckblatt	https://www.hkarchitekten.at/de/projekt/lct-one/ (10.02.2020)
Abbildung 1	CREE , Building the Natural Change, ePaper, 2018, S. 18
Abbildung 2	CREE , Building the Natural Change, ePaper, 2018, S. 19
Abbildung 3	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage – Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 147
Abbildung 4	Detail 2012 Heft 12
Abbildung 5	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage – Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 150
Abbildung 6	LENNARTZ Marc Wilhem, POLCH-RUITSCH, Nachhaltig in die Höhe, Mikago Magazin Heft 7, 2002, S. 24
Abbildung 7	Eigene Darstellung nach Hermann Kaufmann Architekten ZT GmbH
Abbildung 8	https://www.hkarchitekten.at/de/projekt/lct-one/ (10.02.2020)
Abbildung 9	https://www.creebyrhomburg.com/fileadmin-client/creebyrhomburg.com/news/160705_Cree_bei_BIMobject_live (15.02.2020)
Abbildung 10	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage – Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 147
Abbildung 11	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage – Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 148
Abbildung 12	https://www.youtube.com/watch?v=ptEvMSfgtxU (11.02.2020)
Abbildung 13	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage – Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 149
Abbildung 14	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage – Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 146
Abbildung 15	CREE , Building the Natural Change, ePaper, 2018, S. 11

7.2 TREET



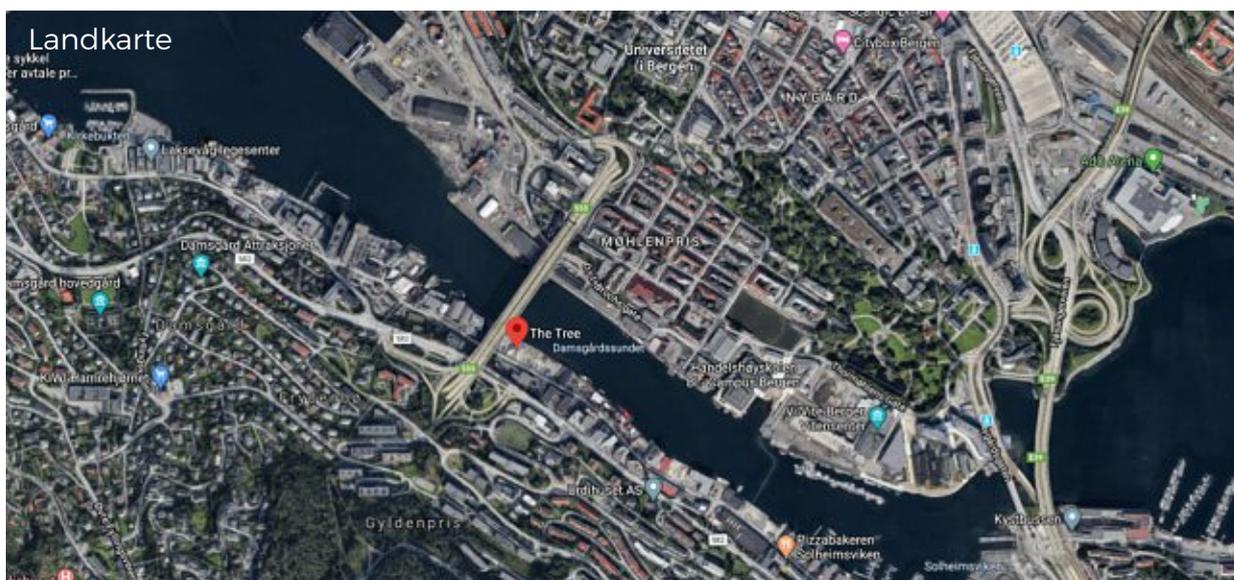


TREET - BERGEN TALL WOOD SCORE

INHALT

Objektdaten	3
Objektbeschreibung	4
Technische Faktoren	5
Wirtschaftliche Faktoren	14
Hybride Faktoren	24
Gebäudeperformance	29
Ergebnis	30
Stärken	30
Schwächen	30
Quellenverzeichnis	31
Abbildungsverzeichnis	32

Weltkarte



Objektdaten

Projekttitel: Treet

Stockwerke: 14

Bauort: Bergen, Norwegen

Gebäudehöhe: 51 m

Adresse: Damsgårdssveien 99

Nutzfläche: 5.830 m²

Fertigstellung: 2015

Bauherr: Bergen og Omegn Boligbyggelag BOB

Nutzung: Wohnbäude

Architektur: Artec

Bauweise: Holzskelettbau mit

Tragwerk / Brandschutz / Bauphysik: Sweco

KLH-Kern & KLH-Modulen

Bauunternehmen: Moelven; Kodumaja

Objektbeschreibung

Der Treet, was übersetzt so viel wie der Baum heißt, ist ein 14 Stockwerke hohes Wohngebäude im Herzen der norwegischen Stadt Bergen. Die skandinavischen Länder haben eine lange Tradition im Holzbau. Besonders bekannt sind dabei die Stabkirchen mit hohen Holzstützen, die bis zu 20 m Höhe erreichen können. Die skandinavischen Ingenieure und Architekten der Moderne greifen vermehrt auf das BSH für ihre Konstruktionen zurück. Zum Zeitpunkt seiner Fertigstellung im Jahr 2015 galt der Treet als das höchste Holzhochhaus der Welt.

Der 52 m hohe Turm mit 62 Wohneinheiten befindet sich in norwegischer Bestlage direkt am Wasser. Er verfügt über eine Nutzfläche von 5.380 m² und wurde von den Architekten Artec entworfen. Das Tragwerk aus Brettschichtholz, wurde vom modernen Brückenbau inspiriert.

Das Tragwerk wurde vom Baukonsulenten Sweco in einer vergleichbaren Weise bereits zuvor in einem 5-geschossigen Gebäude in Trondheim erprobt und weiterentwickelt.

Vereinfacht kann man sich das Tragwerk als Kommode mit Schubladen vorstellen. Die Seitenteile und Böden werden durch ein BSH-Fachwerk gebildet. Die Schubladen selbst bestehen dabei aus vorgefertigten Raummodulen.

Das Gebäude verfügt über einen rechteckigen Grundriss mit rund 21 x 23 m. Das massive KLH-Treppenhaus und der KLH Aufzugsschacht sind, obwohl innerhalb des Grundrisses, unabhängig vom Haupttragwerk. Das Haupttragwerk ruht auf einem festen Stahlbetonsockel, der die Parkgarage, Haustechnikräume und Einlagerungsräume beherbergt. Aufgrund der schlechten Bodenbedingungen war es notwendig das Gebäude mit 100 vertikalen und geneigten Pfählen zu fundieren. Der Treet wird durch eine wetterfeste Hülle geschützt, welche nach Osten und Westen über eine Metallverkleidung verfügt und in Richtung Süden und Norden als vollverglaste Fassade ausgestaltet wurde.

Technische Faktoren

Holzanteil:

Wie hoch ist der Holzanteil der Konstruktion des untersuchten Holzhochhauses?

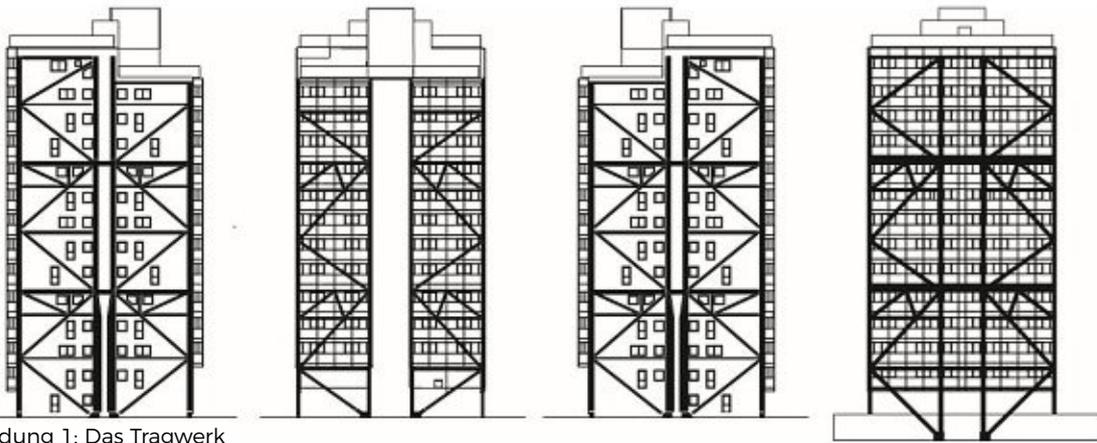
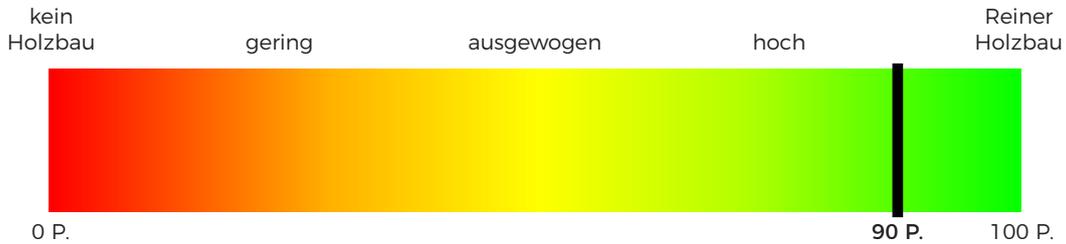


Abbildung 1: Das Tragwerk

Das Gebäude

Aufgrund schlechter Bodenbedingungen vor Ort war es unvermeidbar auf ein pfahlgegründetes Fundament mit bis zu 100 Pfählen zurückzugreifen. Die Garage, der Haustechnikraum und die Einlagerungsräume bilden in Form von Stahlbeton den feuchteresistenten Gebäudesockel.

Ein Gebäude dieser Größenordnung ist starken Seitenkräften ausgesetzt. Die Fachwerkträger und Streben aus BSH bilden über Stahlplatten und Bolzen eine feste Verbindung.

Eine Besonderheit des Tragwerks sind die in jedem 5. Geschoss eingeführten „Supergeschosse“, die das Fachwerk versteifen. Diese sich im fünften und zehnten Stock befindlichen Geschosse werden durch ein Gitter aus geschosshohen Trägern gebildet, die zudem vorgefertigte Betondecken tragen. Durch das Gewicht des Betons wird die Lastverteilung des ansonsten sehr leichten Gebäudes dahingehend optimiert, dass die durch Windlasten verursachten Verformungen abgeschwächt werden. Zusätzlich werden durch die Supergeschosse die Module der nächsten Geschosse getragen.

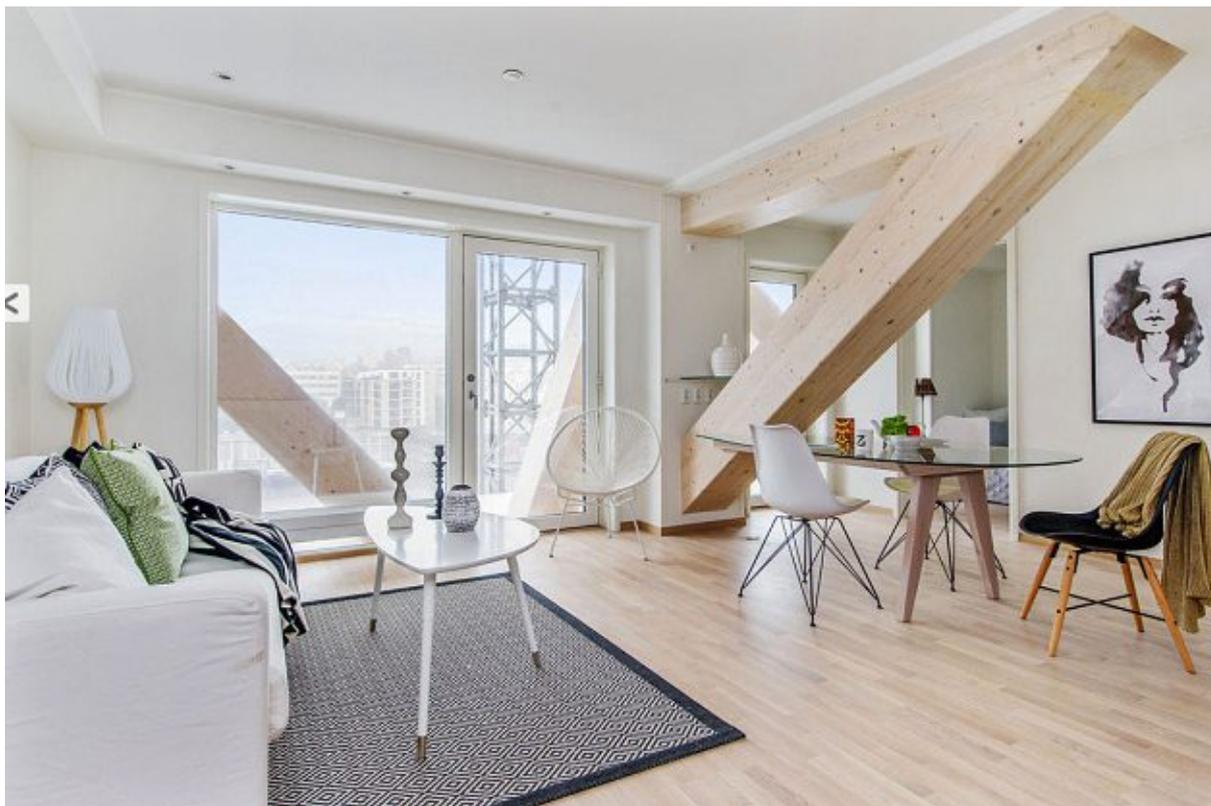


Abbildung 2: Innenraum eines Supergeschosses

Eine klassische Wohneinheit im Treet setzt sich aus zwei Raummodulen zusammen. Ein Nassmodul mit Küche und Bad, sowie ein Trockenmodul aus Wohn- und Schlafräumen.

Jedes Modul ist selbsttragend und um 34mm vom äußeren Tragwerk versetzt, damit auch bei hohen Windlasten auf das Tragwerk, diese nicht auf die Module übertragen werden und so Vibrationen bestmöglich vermieden werden.

Der KLH-Erschließungskern ist dabei komplett entkoppelt und trägt nicht zur Horizontalaussteifung des Tragwerks bei.

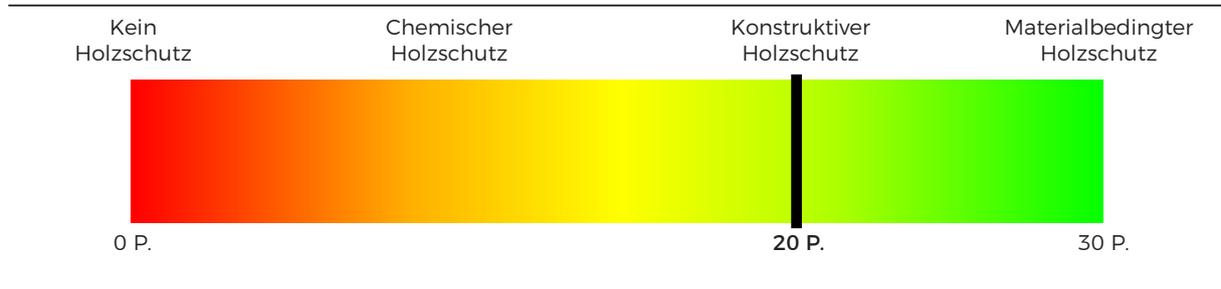
Bewertung

Die brückenartige Konstruktion des Treet verfügt über einen äußerst hohen Holzanteil. Lediglich das Sockelgeschoss, die notwendige Pfahlgründung sowie die Deckenplatten der Supergeschosse werden nicht in Holz ausgeführt. Der Baustoff Holz ist dabei auch im Gebäudeinneren spürbar und das Tragwerk bleibt an vielen Stellen sichtbar. Das Tragwerk des Gebäudes verfügt über einen Holzanteil jenseits der 90 % und wird deshalb mit einer Punktzahl von 90 P. bewertet.

Technische Faktoren

Holzschutz:

In welcher Art und Weise erfolgt im Treet der Holzschutz?



Holzschutz

Um Feuchtigkeit von außen auf das Holz-Tragwerk möglichst optimal zu reduzieren wurde das Sockelgeschoss in herkömmlicher Massivbauweise in Beton ausgeführt.

Das gesamte Tragwerk ist vor Feuchtigkeit und schädlicher UV-Strahlung durch die Hülle aus Glas und Metall geschützt.

In den Fluren, mit einer offenliegenden Holzkonstruktion, wurden aus Brandschutzgründen die BSH-Balken mit einer schwer entflammaren Oberflächenbeschichtung versehen.

Bewertung

Durch das Errichten des Sockelgeschosses in Massivbauweise einerseits, sowie dem konstruktiven Sonnen- und Wetterschutz durch die Gebäudehülle andererseits ist das Holztragwerk umfassend geschützt.

Sämtliche getroffene Maßnahmen im Zusammenspiel mit den materialbedingten Eigenschaften der Gebäudehülle reduzieren den Einsatz von chemischen Holzschutzmitteln. Das Holz des Gebäudes ist überwiegend konstruktiv geschützt, weshalb hierfür 20 P. vergeben werden.

Technische Faktoren

Effektivität der Verbindungen:

Inwiefern wurde Rücksicht auf die intrinsischen Eigenschaften (z.B. Faserrichtung) des Holzes genommen?
Wie aufwendig waren diese Vorkehrungen?

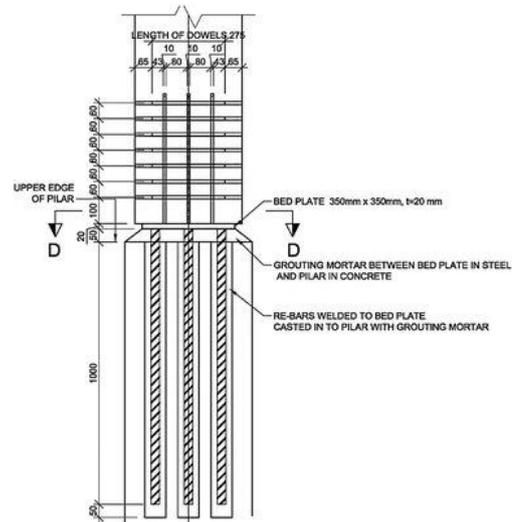


Abbildung 3: Verbindung des Haupttragwerks zum Sockelgeschoss

Lasten

Durch die Inspiration aus dem Brückenbau wurde für das Haupttragwerk eine Fachwerkskonstruktion gewählt. Diese ist hinsichtlich der Lasten so optimiert, dass kaum Lasten quer zur Faser auftreten.

Die typischen Bauteilquerschnitte des Tragwerks sind 405 x 650, 495 x 495 mm für die Träger und 405 x 405 mm für die Diagonalstreben. Diese sind über galvanisierte Stahlplatten und Dübel miteinander verbunden und werden durch das Holz verdeckt. Diese sind somit vor Witterung und Brand geschützt.

Die Module, die in das Haupttragwerk gehoben wurden, werden im Bereich der Decken und Böden zwar quer zur Faser belastet, da aber jedes fünfte Geschoss als Supergeschoss ausgeführt ist und die Lasten dadurch auf das Haupttragwerk geleitet werden, sind die Lasten quer zur Faser nie so hoch, dass dadurch eine beachtliche Faserpressung entstehen würde.

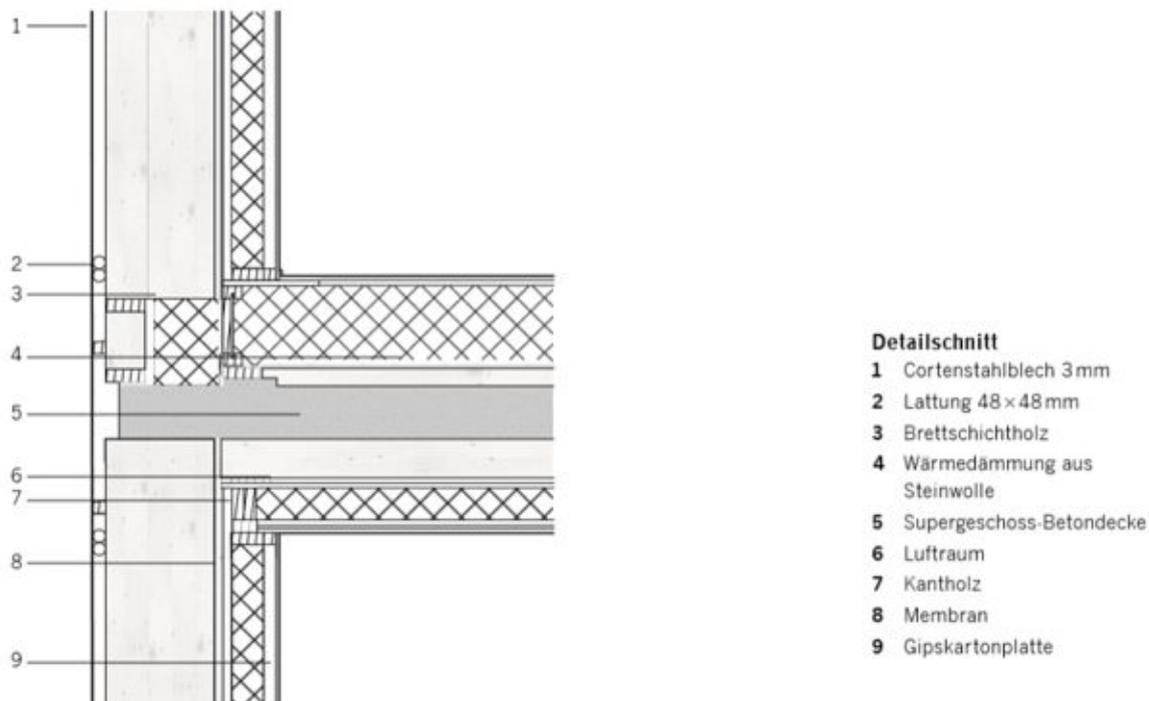


Abbildung 4: Anschlussdetail Supergeschoß

Komplexität

Durch die Wahl eines Stabtragwerks wurden von vornherein viele Probleme in Bezug auf die Faserrichtung vermieden, die ein anderes Tragsystem gehabt hätte.

Bewertung

Die Faserrichtung wurde aufgrund des gewählten Haupttragwerks und der bereits gesammelten Erfahrung im Brückenbau nie zum Problem. Es konnte daher auf bewährte Verbindungen aus dem Brückenbau gestetzt werden und es musste nicht erst eine eventuell komplexe Lösung eines vermeidbaren Problems entworfen werden. Die Komplexität der Vorkehrungen ist deshalb als gering mit 30 P. zu bewerten.

Technische Faktoren

Effektivität / Effizienz Schall:

Welche Vorkehrungen waren notwendig um die gesetzlich erforderlichen Schallschutzwerte zu erzielen?



Schallschutz

Die Holzwände und die Holzfaser-Balken-Lagen bilden eine schallisolierende Holzstruktur, welche in der Lage ist die Schallanforderung nach Klasse C (entspricht einem Grenzwert von $R' = 55$ dB) zu gewährleisten.

Da jedes Modul mit eigenen Wand-, Boden- und Deckenelemente produziert wird, befinden sich zwischen den Wohnungseinheiten sowohl horizontal als auch vertikal zwei Bauteilschichten. Durch diese doppelte Anordnung werden die gesetzlichen Anforderungen bereits erfüllt, wodurch jede weitere zusätzliche Schalldämmungsmaßnahme überflüssig gewesen wäre.

Vibrationen

Durch Vibrationen können auch unerwünschte Geräusche im Wohnraum entstehen. Deshalb wurden die Module vorher auf ihre dynamischen Eigenschaften unter Windlast geprüft. Diese Prüfung erfolgte im Jahr 2012 als Forschungsprojekt der NTNU (Norwegian University of Science and Technology) in Kooperation mit dem Hersteller Koumaja und dem Generalkonsulenten Sweco. Das Ergebnis war zufriedenstellend, zwar sind leichte Vibrationen in den obersten Etagen möglich, jedoch nur in den seltensten Fällen sind diese störend. Das Gewicht der Betonplatten in den Supergeschossen kann die Schwingungen die durch die Windlast erzeugt werden ausreichend dämpfen.

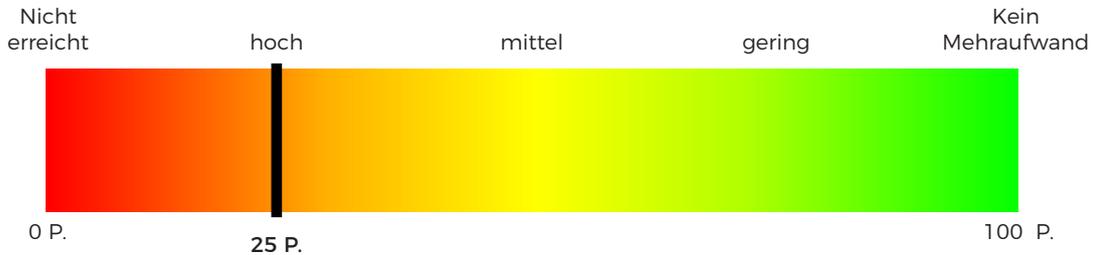
Bewertung

Die modulare Bauweise ermöglicht es, sich weitere Maßnahmen für den Schallschutz zu ersparen. Das Supergeschoss ebenfalls in Holz auszuführen wäre grundsätzlich möglich gewesen, jedoch war die Masse des Betons notwendig um die Schwingungen im Gebäude zu dämpfen und somit auch die Vibrationen einzudämmen. Insgesamt sind die zusätzlichen Maßnahmen aber als gering zu beurteilen und mit 75 P. zu honorieren.

Technische Faktoren

Effektivität / Effizienz Brandschutz:

Wie hoch ist der erzielte Brandwiderstand?
Mit welchem Aufwand ist die Erzielung dieses Wertes
verbunden?



Brandwiderstand und Maßnahmen

Ein Kernthema im Holzbau ist seit jeher der Brandschutz. Die Brennbarkeit des Holzes ist oft fest in den Köpfen der Menschen verankert. Weshalb nicht selten im mehrgeschossigen Holzbau die tragenden Elemente gekapselt werden.

Für die Lösung des Brandschutzes wurde beim Treet jedoch eine andere bewährte Variante gewählt. Das Hauptstützensystem aus Brettschichtholz ist so entworfen, dass es 90 Minuten Brand standhält. Die Sekundärtragwerke wie Gänge, Balkone, Wohnmodule sind so ausgelegt, dass sie bei einem Vollbrand über 60 Minuten ihre Tragfähigkeit nicht verlieren.

Der Entwurf des Brandschutzkonzeptes erfolgte nach Eurocode 5, wodurch der Nachweis über die „reduzierte Querschnittsmethode“ erbracht wurde. Mit dieser Methode wird der effektive Restquerschnitt nach Abbrand ermittelt.

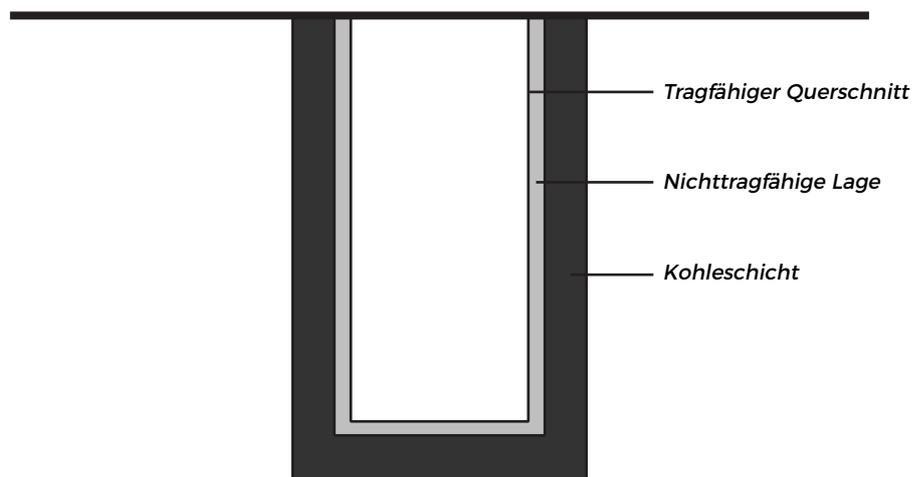


Abbildung 5: Querschnittsmethode nach Eurocode 5

Eine Abbrandrate von 0,7 mm/min führt zu einer Kohleschicht von 63 mm nach 90 Minuten Vollbrand. Zusätzlich werden von dem übrigen Querschnitt noch 7 mm - die nichttragfähige Lage - abgezogen, um den tragfähigen Restquerschnitt zu erhalten. Aus diesem Grund sind alle Metallverbindungen und Dübel durch eine mindestens 70 mm Holzschicht geschützt. Alle Spalten werden mit einer feuerfesten acrylbasiertem Mörtel versehen.

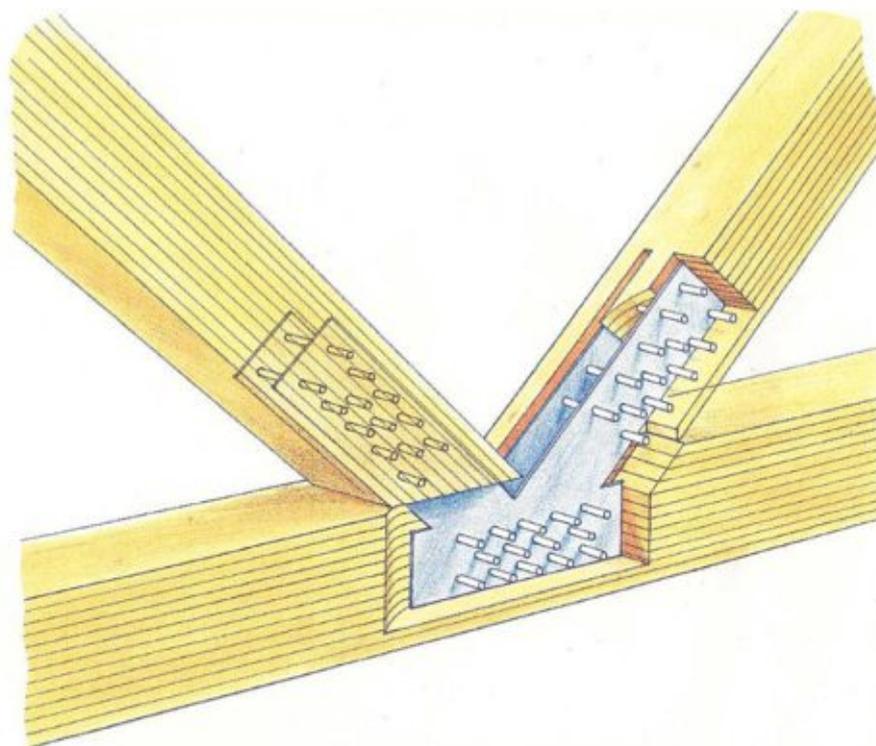


Abbildung 6: Verbindungsschema Haupttragwerk (eingelassene Stahlplatten)

Die Struktur ist äußerst robust, denn auch für den Fall dass im Brand ein Modul nachgibt, können die Lasten durch die Platten im Supergeschoß aufgefangen werden, ohne dass die oberen oder unteren Stockwerke beeinträchtigt werden.

Das Gebäude verfügt über Sprinkleranlagen, die Oberflächen von Brettschicht- und Brettsper Holz wurden mit einer schwer entflammaren Beschichtung versehen und die Fluchttreppen sind mit einer Überdruckbelüftung ausgestattet um im Brandfall den Rauch fernzuhalten.

Die Zwischenräume zwischen der Hülle und den Raummodulen wurden mit nicht brennbarer Steinwolle gedämmt. Die angrenzenden BSH-Balken wurden mit Securo, einer Hohlraum Barriere, die die Ausbreitung von Feuer hinter Fassaden abgegrenzt, abgetrennt.

Dadurch entstehen dreieckige Brandabschnitte in der Fassade.

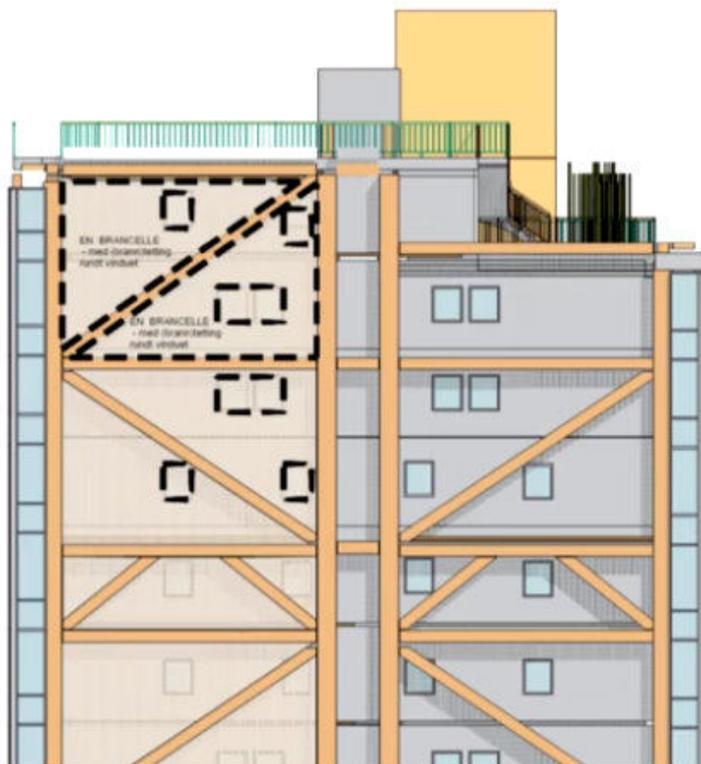


Abbildung 7: Fassaden-Brandabschnitte

Die Fenster, welche die Gebäudehülle durchstoßen, wurden deshalb in ein Aluminiumgehäuse gehüllt, welches zusätzlich mit Steinwolle ausgedämmt wurde.

Auch ein Röhrensystem zum Anschluss von Feuerwehrschräuchen wurde installiert.

Bewertung

Die erzielten Widerstandswerte sind durchaus als hoch zu bewerten, jedoch sind eine Vielzahl an Maßnahmen erforderlich um diese zu erreichen. Neben der relativ materialintensiven Überdimensionierung, werden auch noch Sprinkleranlagen, Brandschutzanstriche, Feuerlöschinstallationen und Druckbelüftungen eingesetzt. Insgesamt kann die Effektivität des Brandschutzes und die Effizienz der eingesetzten Maßnahmen im Treet deshalb als gering eingeordnet werden, da wirklich sämtliche Maßnahmen zum Brandschutz ausgeschöpft wurden. Deshalb kann der Treet in der Kategorie Brandschutz nur mit 25 P. punkten.

Bewertung

Die Umnutzbarkeit des Treet ist, wenn auch gewollt, als sehr gering einzustufen. Seine geringen Raumhöhen und die fix vorgegebenen Raumkonfigurationen machen es nur unter erheblichem Aufwand möglich das Gebäude anderweitig zu nutzen. Zwar ist die Nutzung des Treet zur Vermietung als Serviced Apartments oder für ein anderes Kurzzeitmietmodell durchaus möglich, jedoch sind dies nur Varianten der Wohnnutzung. Eine anderweitige Umnutzung zum Beispiel in eine Büronutzung erscheint unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Aspekten durch die vorgegebene Struktur der Module nicht realistisch und auch nicht gewollt. Deshalb können für die Umnutzbarkeit keine Punkte vergeben werden.

Wirtschaftliche Faktoren

Verdichtete Bauweise:

In welcher städtebaulichen Dichte wurde das Gebäude ausgeführt?

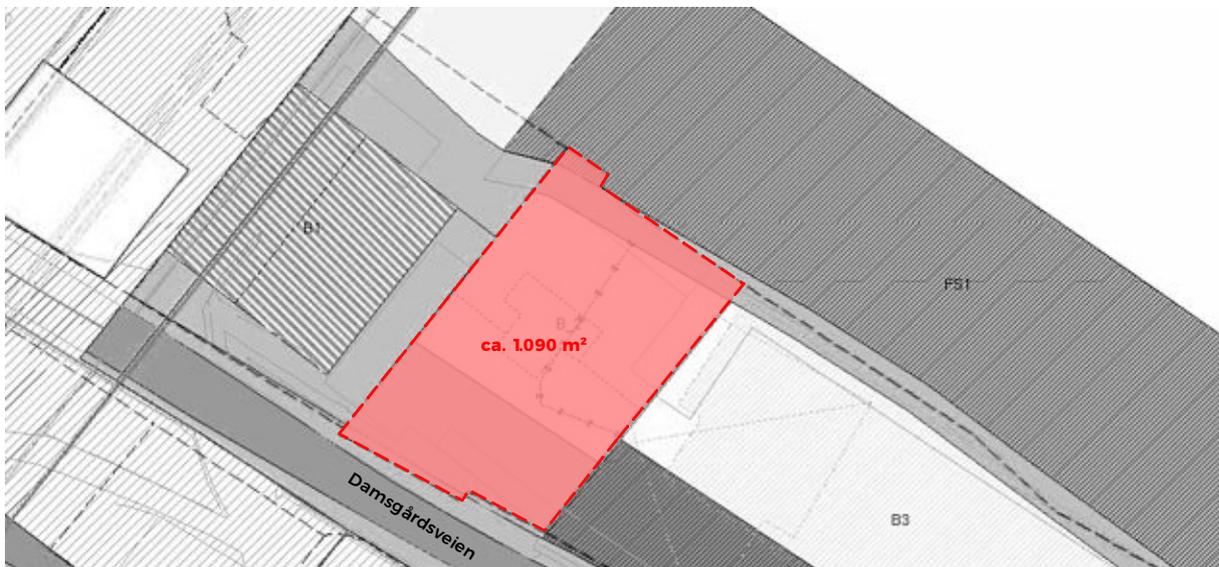
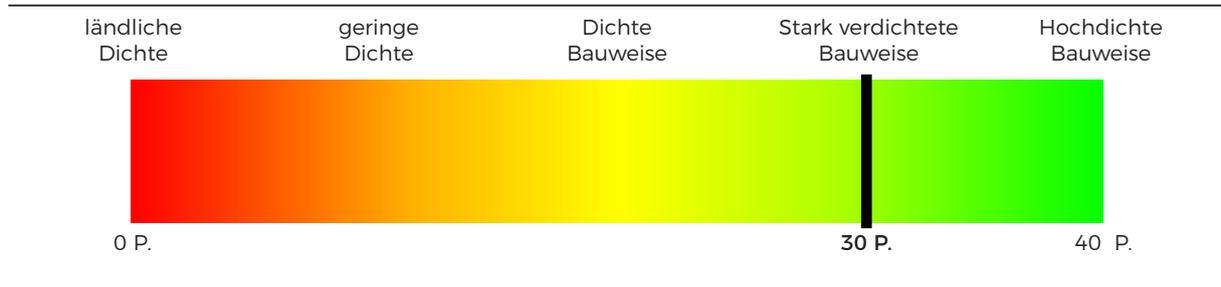


Abbildung 9: Grundstück - Damsgårdsveien 99

Dichte der Bauweise

Der Treet ist mit seiner Bauhöhe von ca 52 m auch in Österreich als Hochhaus klassifiziert. Auf dem knapp 1.090 m² großen Grundstück verteilen sich im Treet die 5.460 m² Nutzfläche und die 7.140 m² Bruttogeschossfläche auf 14 oberirdische Geschosse. Durch die Stapelung der Raummodule entstand ein kompaktes Wohnhaus in der zweitgrößten norwegischen Stadt.

Die Geschossflächenzahl (GFZ) des Projekts Treet beträgt 6,5.

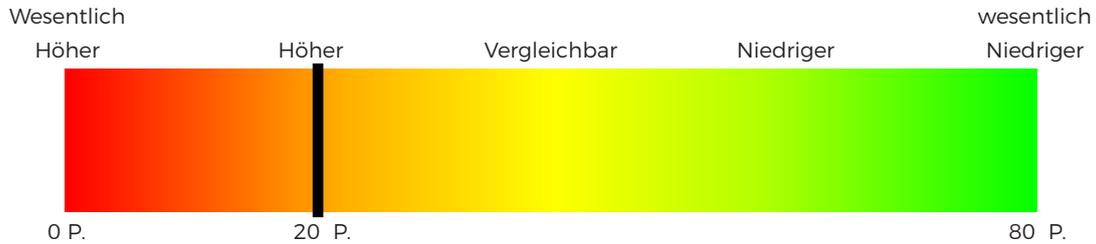
Bewertung

Mit einer Geschossflächenzahl (GFZ) von knapp 6,5 liegt der Treet durchaus in einem Bereich der stark verdichteten Bauweise (30 P.), besonders für ein Objekt, das in einer vergleichsweise kleinen Stadt mit der ungefähren Größe von Innsbruck liegt.

Wirtschaftliche Faktoren

Kosten:

Wie hoch sind die Kosten gegenüber einem konventionell
(in Stahlbeton o. Stahl) errichteten Hochhaus?



Dichte der Bauweise

Der in 2015 fertiggestellt Treet war seinerzeit das höchste Holzhochhaus der Welt. Dieses wurde von der Bergen and Omegn Building Society „BOB“ errichtet und abverkauft. Das Gesamtvolumen des Projektes wurde mit EUR 22 Mio. beziffert. Dieses inkludiert auch den Ankauf des Grundstückes. Eine durchschnittliche Wohnung wurde um rund 6.500 €/m² verkauft. Da die Kosten nicht detaillierter publiziert wurden, muss die Aussage von Rune B. Abrahmsen bei seinem Vortrag im November 2014 bei der Tallin Wood Conference zur Beurteilung dieser Detailkategorie herangezogen werden. Laut Abrahmsen waren die Errichtungskosten des Treet verglichen mit einem konventionellen Stahlbetonhochhaus leicht erhöht.

Bewertung

Gemäß den oben beschriebenen Faktoren wird in dieser Detailkategorie eine Punktzahl von 20 P. vergeben. Aufgrund der Intransparenz und der wenig publizierten Wirtschaftlichkeit des Treet ist davon auszugehen, dass die Mehrkosten die 5% übersteigen. Bei Publikation der tatsächlichen Kosten kann und muss die Bewertung an diese angepasst werden.

Wirtschaftliche Faktoren

Vorfertigung

Wie hoch ist der Vorfertigungsgrad des Gebäudes?

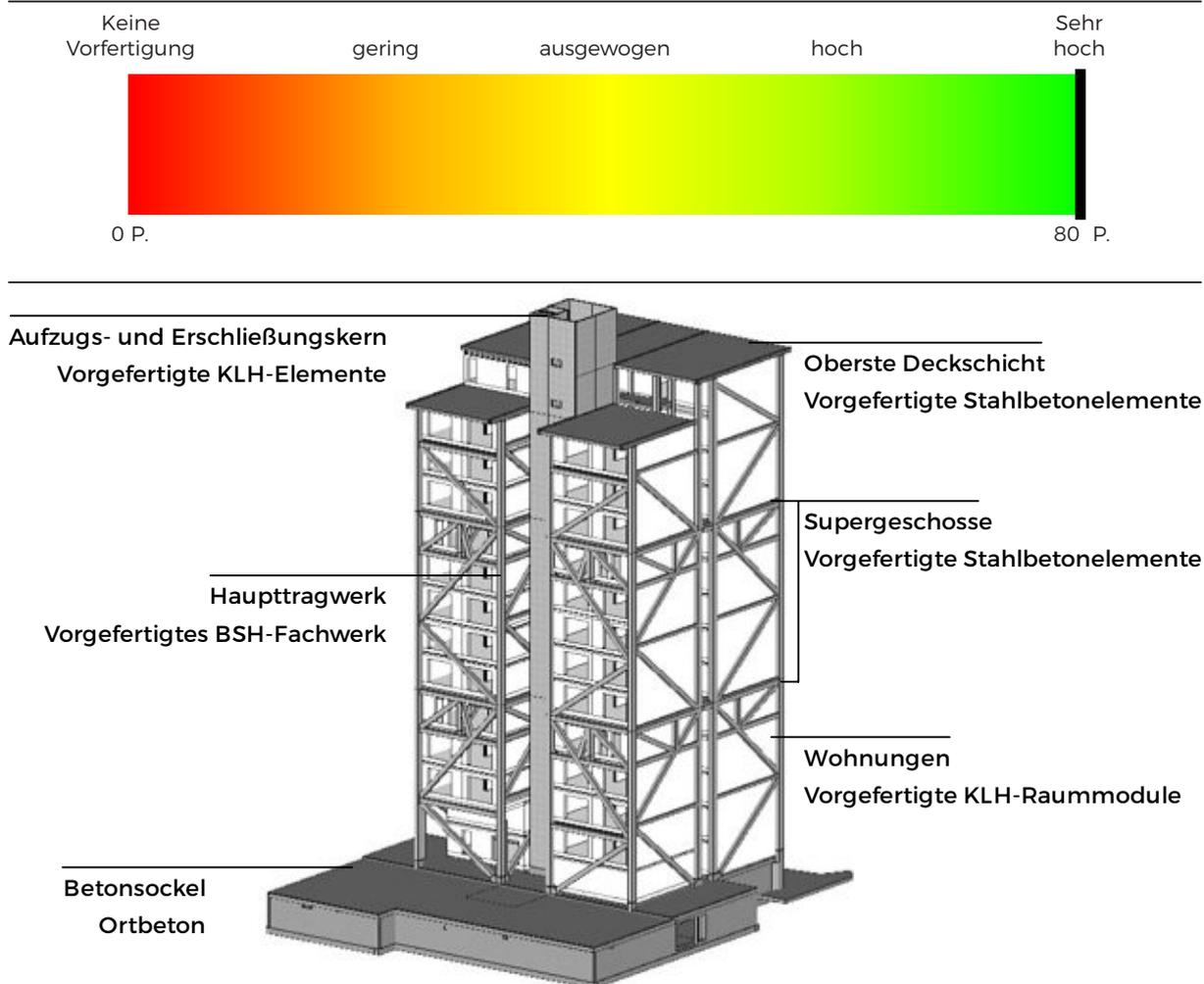


Abbildung 10: Vorfertigungsgrad

Grad der Vorfertigung

Mit Ausnahme des Betonsockels, welcher in Ortbeton gebaut wurde, wurden sämtliche Bauteile des Treet vorgefertigt. Diese wurden stichtagsgenau auf die Baustelle, sowohl über den Seeweg, als auch per Sattelschlepper, angeliefert und umgehend verbaut.

Bewertung

Das gesamte Tragwerk, die Raummodule als auch die Erschließung wurden vorgefertigt. Das Gebäude weist daher einen Vorfertigungsgrad auf, der kaum übertroffen werden kann und wird deshalb mit der vollen Punktzahl honoriert.

Wirtschaftliche Faktoren

Vorfertigung

Wie komplex/aufwendig sind die vorgefertigten Teile? Wie wirkt sich dies auf die Fertigung und die Montage der Teile aus?

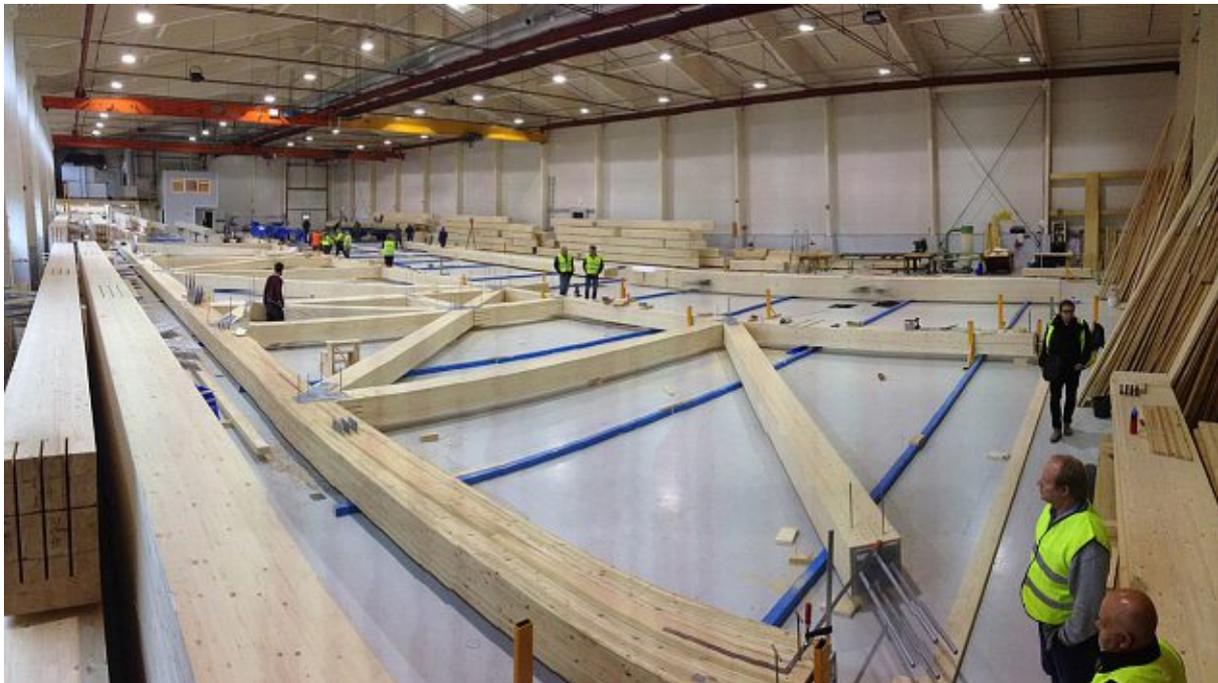


Abbildung 11: Haupttragwerk - BSH Fachwerk

Fachwerkelemente

Die gesamten Elemente der Fachwerkskonstruktion wurden von Moelven produziert. Das Fachwerk bestehend aus BSH-Balken mit den Dimensionen 495x495 mm, 405x650 mm und 405x405 wurde wie in Abbildung 10 ersichtlich bereits in der Werkhalle liegend zusammengesetzt. Grund dafür war die Ermittlung der Bauteiltoleranzen. Im Anschluss wurde es wieder demontiert um auf der Baustelle geliefert werden zu können.

Für ein etabliertes Unternehmen mit Erfahrung im Brückenbau war die Herstellung dieser Elemente mit keiner großen Schwierigkeit verbunden.

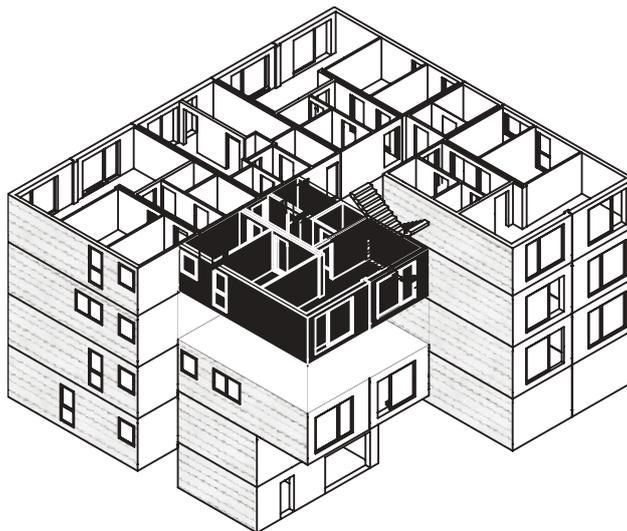


Abbildung 12: Wohnungsmodule

Wohnungsmodule

Die Module für die Wohnungen waren ein Mittel um den Vorfertigungsgrad des Gebäudes weiter zu erhöhen. Die Vorteile liegen auf der Hand, denn durch die vorgefertigten Module reduziert sich der Installationsaufwand enorm. Durch das Stapeln der Module und die dadurch dicken bzw. doppelten Decken und Böden konnten außerdem gute Dämmeigenschaften erzielt werden.

Die Module wurden durch Kodumaja in Estland produziert. Diese wurden in Holzständerbauweise gefertigt, und bereits inklusive Küche und Sanitärtechnik über den Seeweg nach Bergen gebracht.

Stiegenhaus und Lift

Die KLH-Elemente für den Stiegenhaus- und Liftkern wurden von Merk Timber in Deutschland produziert. Diese wurden per LKW an die Baustelle geliefert, und vor Ort zu 15 m langen Teilstücken kombiniert und anschließend versetzt. Die Stiegenauflager wurden bereits im Werk in Deutschland installiert, weil durch die maschinelle Bearbeitung des KLH enorme Präzision möglich war. Nach Einbau des gesamten Liftkernes war die Toleranz weniger als 3 mm.



Abbildung 13: Einheben der vorgefertigten Elemente

Komplexität der Bauteile

Für die Errichtung des Treets musste keines der Elemente eigens entwickelt werden. Es wurde auf Elemente und Verbindungen zurückgegriffen, die bereits seit Jahren erprobt sind. Diese wurden von Unternehmen produziert, die genau auf die Fertigung dieser Elemente spezialisiert sind.

Komplexität der Montage

Die Montage ist aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades, einer enormen Präzision (eine Toleranz von weniger als 3 mm auf 50 m Bauhöhe) der Bauteile, erprobter Systeme aus dem Brücken- und Modulbau, sowie hohem Wiederholungsgrad und der exakten Planung des Montageprozesses für geschultes Personal relativ einfach handzuhaben. Die Planung des gesamten Bauablaufs, auch wegen der Taktung der Bauteilanlieferung Monate vorher, stellt eine Schwierigkeit dar, wodurch eine gewisse Vorlaufzeit notwendig war.

Dadurch dass die Module bereits fertig an die Baustelle geliefert wurden, war auch der Witterungsschutz kein Problem. Lediglich das oberste Modul wurde am Ende des Tages mit einem provisorischen Satteldach versehen, damit der Niederschlag abfließen konnte.

Bewertung

Der Treet ist eine Kombination aus altbewährten Elementen, die im Zusammenschluss etwas bis dahin Einzigartiges bildeten. Weder eines der Hauptbauteile noch deren Verbindungen mussten extra für das Holzhochhaus entwickelt werden.

Durch den hohen Vorfertigungsgrad, gerade in Form von Modulen (zwei bildeten eine ganze Wohnung) konnte die Montage extrem vereinfacht werden. Das BSH-Fachwerk wurde zerteilt angeliefert und vor Ort am Boden wieder zusammengesetzt. Das gleiche gilt für die KLH-Elemente. Auch diese konnten dann in wenigen Minuten versetzt werden.

Insgesamt ist die Lösung die für den Bau des Treets gewählt wurde, hinsichtlich der einzelnen Bauteile sowie der nachfolgenden Montage durch die vorhergehende akribische Planung, einem hohem Wiederholungsgrad, dem Einsatz von fertigen Modulen und guter Koordination als wenig komplex zu beurteilen und mit der vollen Punktzahl zu honorieren.

Wirtschaftliche Faktoren

Projektlaufzeit

In welchem Zeitrahmen konnte das Gebäude errichtet werden? Konnte durch innovative Baumethoden Zeit eingespart werden?

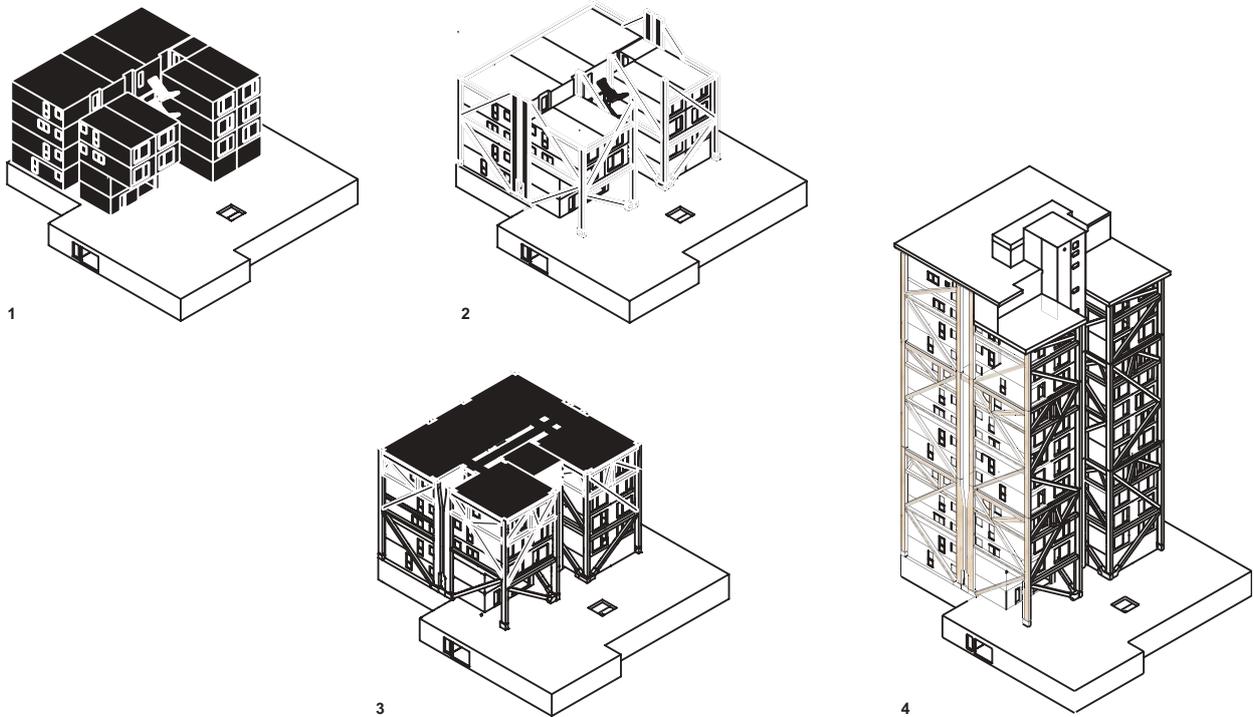
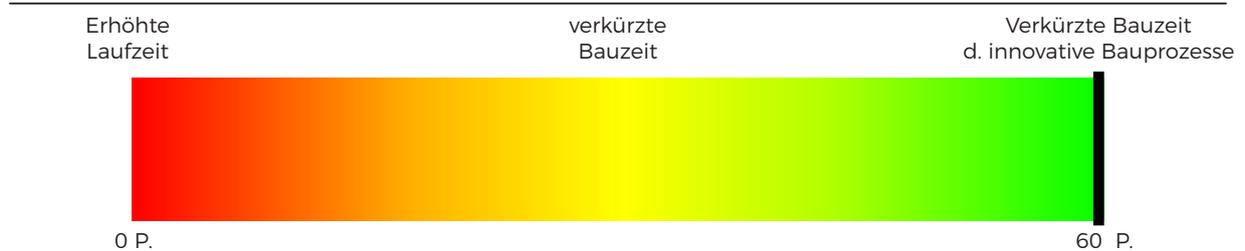


Abbildung 14: Bauphasen Schema

Bauablauf und Bauzeit

Der Baustart erfolgte Ende 2014. Zuerst wurde das Betonfundament mitsamt den rund 100 Pfählen die zur Gründung notwendig waren, geschaffen. Im Anschluss wurden die mit dem Schiff aus Estland hertransportierten Wohnungsmodul in eine Höhe von vier Geschossen gestapelt (1). Danach wurde das BSH-Tragwerk in 15 m Abschnitten mit einer Toleranz von 34 mm um die Module gebaut und mit dem Betonfundament verankert (2). Die speziellen Raummodule des 5. Geschosses wurden in das Supergeschoss eingebaut. Auch der erste Abschnitt des Treppenkerne wurde zuerst am Boden zusammengesetzt und in 15 m Abschnitten eingebaut.

Anschließend wurden die fertigen Betondeckenplatten darauf verlegt (3). Wodurch die Lasten jedes 5-geschossigen Modulstapels auf das Fachwerk geleitet wurden, und nicht auf die darunterliegenden Module. Der Vorgang wiederholte sich insgesamt drei Mal bis das letzte Geschoss erreicht werden konnte (4). Im nächsten Schritt wurde das gesamte Tragwerk durch die schützende Hülle aus Metall und Glas gepackt.

Durch eine akribische Planung des gesamten Projektes konnte in der tatsächlichen Bauzeit sehr viel Zeit erspart werden. Mit Hilfe von Computermodellen (Building Information Modelling) wurde jedes einzelne Bauteil und jeder einzelne Schritt der Montage bereits vorab geplant. Dies war unter anderem notwendig, weil die Anlieferung der Bauteile bereits Monate im voraus geplant werden musste und auf der Baustelle kaum Platz für eine etwaig benötigte Zwischenlagerung war.

Dadurch erhöhte sich natürlich die Vorlaufzeit, die jedoch durch die ganzen Genehmigungsverfahren der Behörden im Vergleich zu einem Hochhaus in Massivbauweise ohnehin verzögert wurden. Der Hohe Grad der Vorfertigung wurde auch deshalb so gewählt, um die Mehrkosten die durch den Holzbau entstehen mittels Bauzeitverkürzung möglichst zu reduzieren.

Das Projekt konnte schließlich im Herbst 2015 fertiggestellt werden.

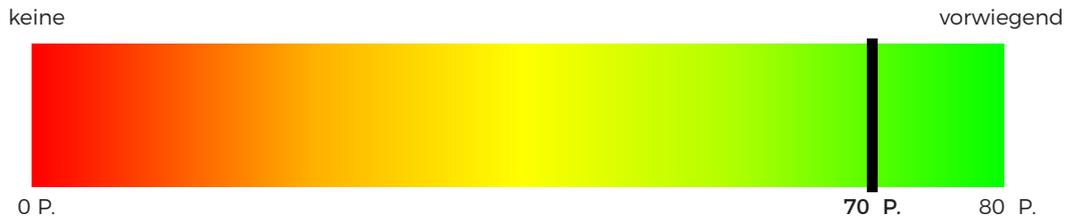
Bewertung

Durch den hohen Grad an Vorfertigung und Präzision der Bauteile (Module, Vollfertigteile), einfacher Bauteilverbindungen sowie der Planung und Taktung des kompletten Bauablaufs mit Hilfe computergestützter Modelle konnte das Holzhochhaus in nur wenigen Monaten fertiggestellt werden. Das Gebäude wird deshalb mit der vollen Punktzahl honoriert.

Hybride Faktoren

Nachhaltigkeit

Wurde bei dem Bau des Holzhochhauses darauf Wert gelegt nachhaltige Baustoffe zu verwenden?



Nachhaltigkeit der eingesetzten Baustoffe

Das überwiegend verwendete Material im Treet ist Holz. Dieses findet sich sowohl im Tragwerk, in den Erschließungskernen, als auch in vielen Oberflächen wieder.

Der Großteil des Brettschichtholzes ist aus der norwegischen Fichte gefertigt. Der Witterung ausgesetztes Holz wurde aus der nordischen Kiefer gefertigt. Auch das für den Bau der Module verwendete Konstruktionsholz sowie die KLH-Platten wurden aus norwegischer Fichte produziert.

Nur für den Sockelbereich, das Fundament und die Supergeschossplatten wurde auf Beton gesetzt. Für die Verbindungen im Fachwerk wurden galvanisierte Stahlplatten und rostfreie Stahldübel eingesetzt. Um das Gebäude vor Witterung zu schützen wurde auf Stahlplatten und Glas gesetzt. Aufgrund der vergleichsweise schlechten CO₂-Bilanz dieser Bauteile wurden diese auf das Notwendigste reduziert.

Bei der Dämmung des Gebäudes wurde aufgrund der guten Brandeigenschaften auf Steinwolle gesetzt.

Bewertung

Im gesamten Bauwerk wurde sehr großen Wert auf regionale Baustoffe gelegt. Auch für die Erschließungskerne wurde auf KLH gesetzt und nicht auf die sonst populären Stahlbetonkerne. Der Einsatz von Beton und Stahl wurde weitestgehend eingeschränkt. Auch im Gebäudeinneren bleibt der Einsatz von nachwachsenden Materialien sicht- und spürbar. Weshalb in dieser Detailkategorie 70 P. vergeben werden können.

Die verbauten Module, Erschließungskerne, Supergeschossplatten und Fassadenelemente können somit relativ mühelos wieder vom restlichen Tragwerk gelöst und zerlegt werden.

Der Großteil der verwendeten Hölzer ist chemisch unbehandelt und kann daher unbedenklich wiederverwertet werden. Das mit einem Brandschutzmittel versehene Holz muss je nach Art der eingesetzten Beschichtung, in speziellen Anlagen zumindest energetisch verwertet werden.

Aktuell ist das Recyclingpotenzial von Steinwolle relativ gering, jedoch bieten einige Steinwolleproduzenten die Verwertung bzw. Rücknahme ihrer Produkte an. Durch seine Brandschutzeigenschaften war der Einsatz jedoch erforderlich.

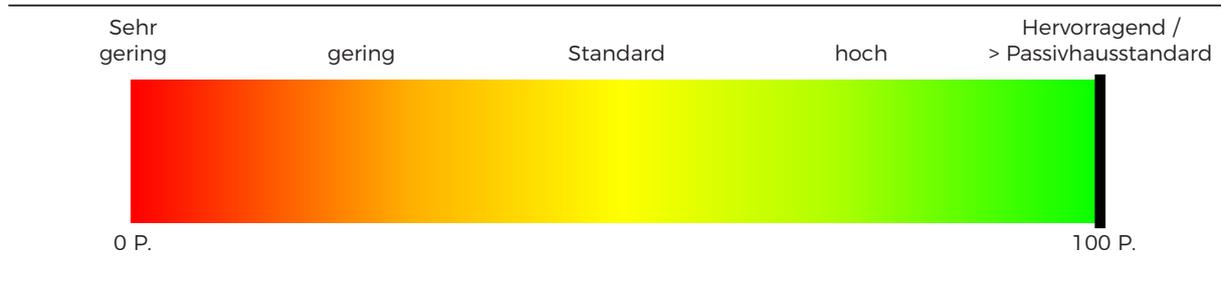
Bewertung

Die Rückbaubarkeit des Gebäudes ist aufgrund der gewählten Tragwerkstruktur mit der einer Holzfachwerkbrücke vergleichbar. Durch den werkseitigen Aufbau des Fachwerks und der anschließenden Demontage kann die Rückbaubarkeit noch vor der eigentlichen Errichtung unter Beweis gestellt werden. Weiters sind Module äußerst gut auch für eine etwaige Demontage geeignet. Einige Gebäudeteile wie der Stahlbetonsockel, die Pfahlfundierung und die Steinwolldämmung sind im Vergleich zum Holz und Stahl weniger recycelbar, jedoch wurde auf erdölbasierte Dämmstoffe weitestgehend verzichtet. Dadurch hat der Treet insgesamt eine durchaus gute Performance im Bereich der Rückbaubarkeit, welche mit 80 P. bewertet wird.

Hybride Faktoren

Energieeffizienz

Wie energieeffizient ist das Gebäude im laufenden Betrieb?



Energieeffizienz

Die Kosten für den Gebäudebetrieb übersteigen die Baukosten in der Regel um ein Vielfaches, dennoch wird oft nur Wert auf die Optimierung der Baukosten gelegt ohne den Blick auf die Gesamtlebenszykluskosten zu haben.

Beim Treet wurden jedoch sämtliche Maßnahmen getroffen, um die Module und das Gebäude so zu verbessern, dass sie dem Passivhausstandard entsprechen.

Dies konnte durch die Verbesserung der Fensterdichtheit und einer Steinwolldämmschicht von 50 cm gewährleistet werden.

Energiesysteme

Jede Wohneinheit verfügt über ein eigenes Ventilationssystem samt Wärmerückgewinnung mit einer Effektivität von 80%. Die Kabelführung und die Wahl der Ventilatoren wurden dabei ausgelegt um möglichst energieeffizient zu arbeiten.

Heizung und Warmwasser werden über das Fernwärmenetz der Stadt Bergen über einen Wärmetauscher gewährleistet.

Bewertung

Der Treet als Passivhaus ist kalkulatorisch im laufenden Gebäudebetrieb äußerst kosteneffizient. Die Energieersparnis wirkt sich auf den Lebenszyklus betrachtet äußerst positiv auf die Gesamt-CO₂-Bilanz aus.

Aufgrund des erreichten Passivhausstandards, kann für den Treet die Gesamtpunktzahl in dieser Kategorie vergeben werden. Wie oben beschrieben verfügt es dennoch auch über weitere nachhaltige Gebäudekonzepte.

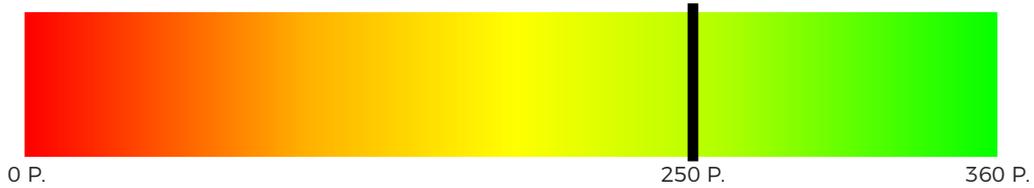
TREET

GEBÄUDEPERFORMANCE

Technische Performance



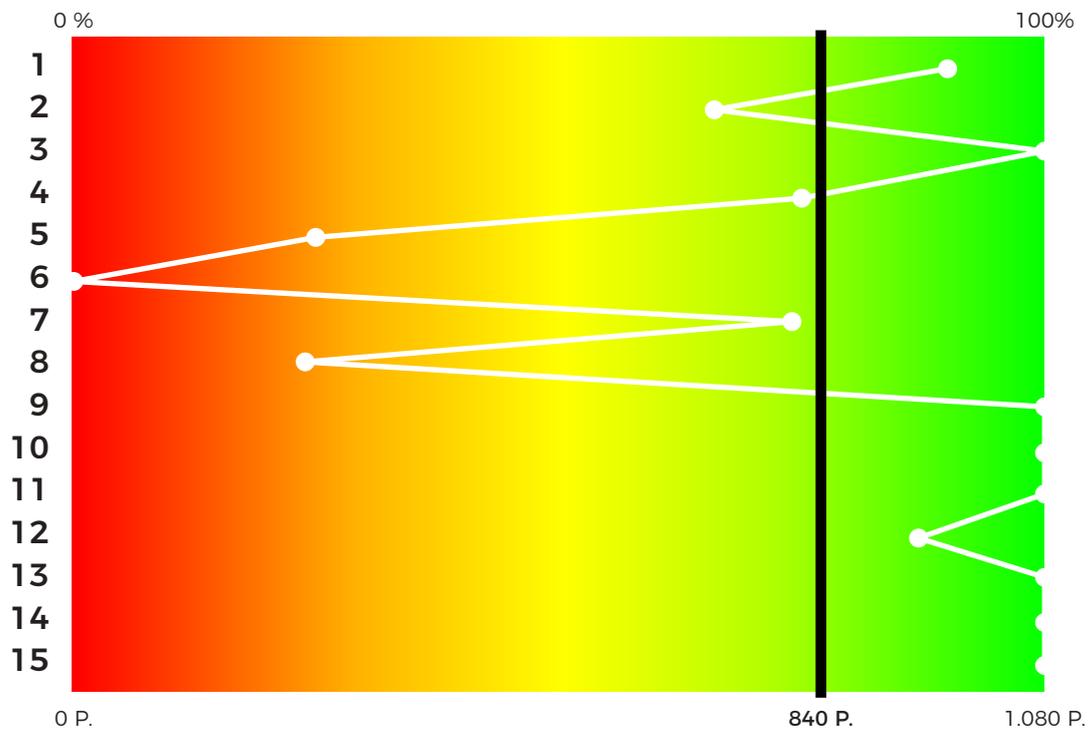
Wirtschaftliche Performance



Hybride Performance



Gesamtperformance



Ergebnis

Der Treet in Bergen ist ein Pilotprojekt, der erprobte Tragsysteme aus dem Brücken- und Modulbau kombiniert, und so die Machbarkeit des neuen Bautyps Holzhochhaus unter Beweis stellt. Es ist nicht das erste seiner Art, jedoch zur Zeit seiner Errichtung war der Treet das höchste Holzhochhaus der Welt mit einem beachtlichen Anteil an Holz. Der Ansatz zur Lösung des Tragwerks, war ein völlig anderer wie bei den bisherigen Holzhochhäusern.

Auch der Treet ist als Prototyp für eine neue Art von Hochhäusern zu sehen. Er ist das erste Holzhochhaus mit einem Fachwerk als Haupttragstruktur und Holzriegelmodulen zur Optimierung der Bauzeit.

Mit einer Gesamtperformance von 840 Punkten kann der Treet als Pilotprojekt in sehr vielen Bereichen punkten, jedoch sind aufgrund des Innovationscharakters auch einige Schwächen, die nicht unerwähnt bleiben sollten:

Stärken

- Hoher Vorfertigungsgrad und stark verkürzte Bauzeiten
- Kombination etablierter und erprobter Tragwerkslösungen
- Bereits in der Bauphase weitestgehend wetterfest
- Modullösung verkürzt Rohbau und Ausbau
- Verwendung nachhaltiger und regionaler Baustoffe (Holz, Holzwerkstoffe, usw.)
- Nachweislich gute und einfache Rückbaubarkeit und gute Recyclierbarkeit
- Hohe Energieeffizienz im Betrieb durch Forcierung der Passivhausqualität bei Modulen und Gebäudehülle
- Das Holz bleibt im Gebäudeinneren sichtbar und spürbar, besonders in den Supergeschossen
- Gute städtebauliche Dichte und Grundrisseffizienz

Schwächen

- Anlieferung der Bauteile aus ganz Europa (Deutschland, Estland)
- Modulbauweise für eine Umnutzung de facto ungeeignet
- Beinahe alle verfügbaren Maßnahmen zum Brandschutz wurden ausgeschöpft
- Starke Einschränkungen durch das vorgegebene System
- Hoher Planungs- und Koordinierungsaufwand aufgrund vorbestellter Module per Schiffsweg

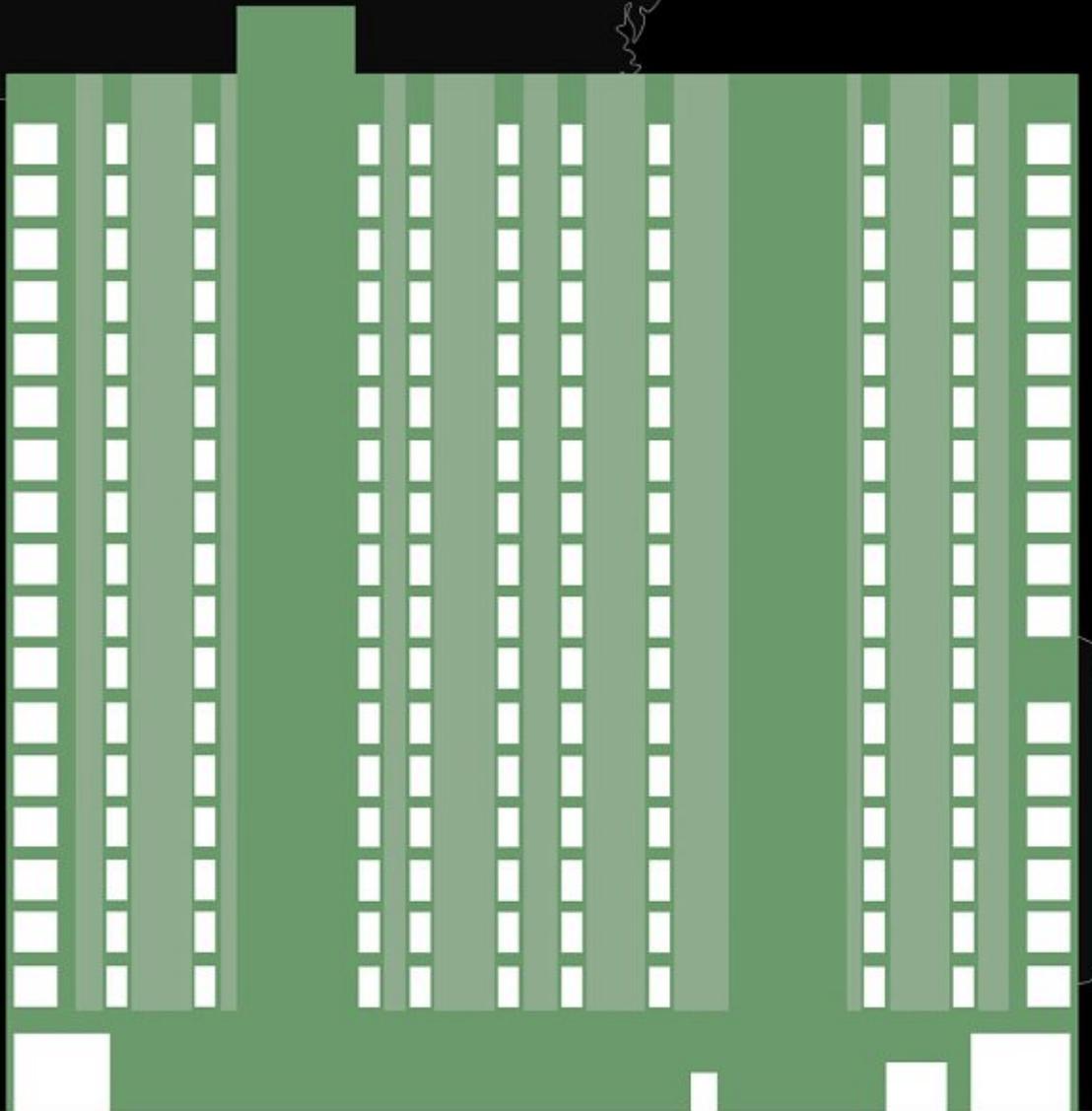
Quellenverzeichnis

Objektdaten	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 158-163 https://artec.no/prosjekter/treet/ (02.03.2020)
Objektbeschreibung	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 158-163
Punkt 1	ABRAHAMSEN Rune, KJELL Arne Malo, Structural design and assembly of „treet“ - a 14-storey timber residential building in norway - Eur. J. Wood Prod. 74, 407-424 (2016) GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 158-163
Punkt 2	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 163
Punkt 3	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 160-163
Punkt 4	https://www.arkitektur.no/treet?tid=158202 (05.03.2020) www.sintef.no/byggforsk (05.03.2020) GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 163
Punkt 5	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 163 https://www.arkitektur.no/treet?tid=158202 (05.03.2020) www.sintef.no/byggforsk (05.03.2020) ABRAHAMSEN Rune, KJELL Arne Malo, Structural design and assembly of „treet“ - a 14-storey timber residential building in norway - Eur. J. Wood Prod. 74, 407-424 (2016) https://securonorway.com/products/ (08.03.2020)
Punkt 6	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 160 https://www.bob.no/om-bob/ (10.03.2020)
Punkt 7	Osterreichische Gesellschaft für Architektur, Umbau 29: Umbau. Theorien zum Bauen im Bestand, Band 29 - Wien, Birkhäuser Verlag 2017 S. 95 http://www.bergenskart.no/bergen/ (20.02.2020) https://www.innsbruck.gv.at/ (20.02.2020) https://www.arkitektur.no/treet?tid=158202 (05.03.2020)
Punkt 8	Abrahmsen Rune, The world's tallest timber Building, Vortrag vom November 2014 https://www.buildup.eu/en/practices/cases/treet-wooden-high-rise-building-excellent-energy-performance (08.06.2020)
Punkt 9	https://www.arkitektur.no/treet?tid=158202 (05.03.2020)
Punkt 10	https://www.holzbauaustria.at/architektur/2016/01/maechtig.html (08.03.2020) http://www.kodumaja.ee/ (05.03.2020) GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 160-163
Punkt 11	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 146; 149-151
Punkt 12	ABRAHAMSEN Rune, KJELL Arne Malo, Structural design and assembly of „treet“ - a 14-storey timber residential building in norway - Eur. J. Wood Prod. 74, 407-424 (2016)
Punkt 13	http://www.timberdesignandtechnology.com/treet-the-tallest-timber-framed-building-in-the-world/ (10.03.2020)
Punkt 14	FURNKRANZ Alois, Der Umgang mit Holzabfällen in Österreich Recycling und energetische Verwertung von Altholz, 2017 - S. 4 ABRAHAMSEN Rune, KJELL Arne Malo, Structural design and assembly of „treet“ - a 14-storey timber residential building in norway - Eur. J. Wood Prod. 74, 407-424 (2016) http://www.nachhaltiges-bauen.jetzt/recycling-und-entsorgungseigenschaften-von-daemmstoffen/ (04.03.2020) https://www.rockwool.de/services-und-tools/planungshilfen/abfallruecknahme-rockcycle/ (15.03.2020)
Punkt 15	https://www.holzbauaustria.at/architektur/2016/01/maechtig.html (10.03.2020) https://www.buildup.eu/en/practices/cases/treet-wooden-high-rise-building-excellent-energy-performance (25.03.2020)

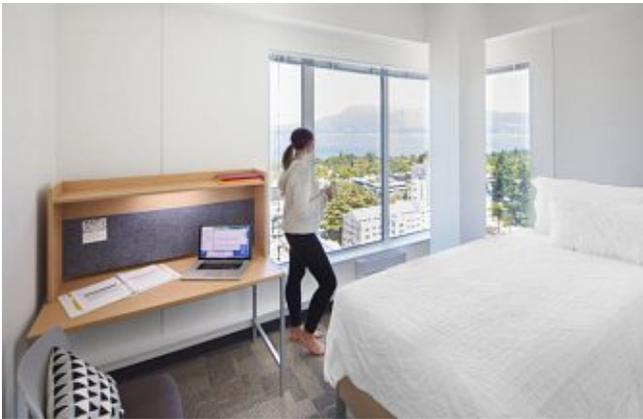
Abbildungsverzeichnis

Deckblatt	https://artec.no/prosjekter/treet/ (26.02.2020)
Abbildung 1	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 159
Abbildung 2	https://urbannext.net/treet/ (03.02.2020)
Abbildung 3	ABRAHAMSEN Rune, KJELL Arne Malo, Structural design and assembly of „treet“ - a 14-storey timber residential building in norway - Eur. J. Wood Prod. 74, 407-424 (2016) Foto: BOB
Abbildung 4	Detail 2012 Heft 12
Abbildung 5	Eigene Darstellung nach Eurocode 5
Abbildung 6	LENNARTZ Marc Wilhem, POLCH-RUITSCH, Nachhaltig in die Höhe, Mikago Magazin Heft 7, 2002, S. 24
Abbildung 7	Eigene Darstellung nach Artec Architekten
Abbildung 8	Eigene Darstellung nach Artec Architekten
Abbildung 9	Eigene Darstellung nach http://www.bergenskart.no/bergen/ (20.02.2020)
Abbildung 10	Grafik: BOB - https://www.bob.no/
Abbildung 11	Grafik: BOB - https://www.bob.no/
Abbildung 12	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 161
Abbildung 13	https://vimeo.com/108459385 (15.02.2020) BOB - https://www.bob.no/ (15.02.2020)
Abbildung 14	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 160
Abbildung 15	Foto: ARTEC

7.3 BROCK COMMONS TALLWOOD HOUSE



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



BROCK COMMONS TALLWOOD HOUSE - VANCOUVER

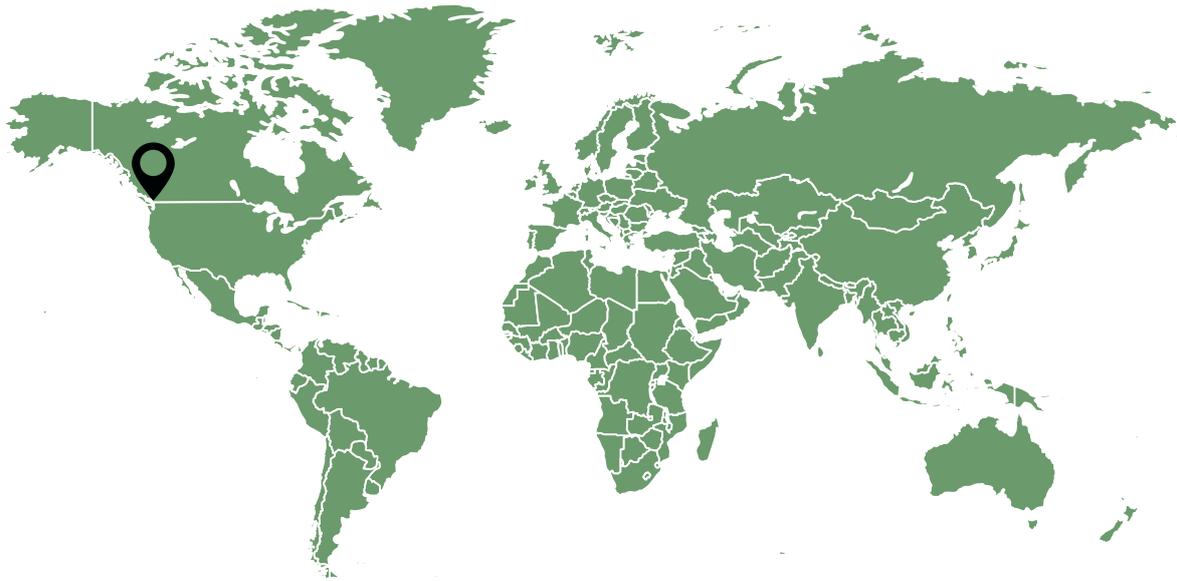
TALL WOOD SCORE

INHALT

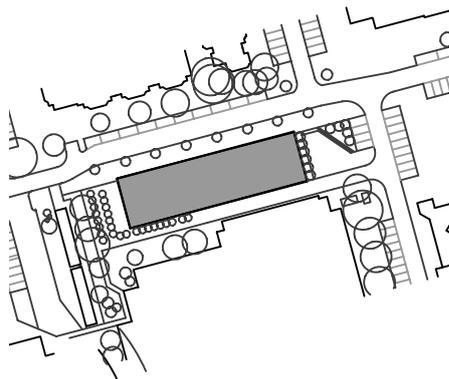
Objektdaten	3
Objektbeschreibung	4
Technische Faktoren	5
Wirtschaftliche Faktoren	16
Hybride Faktoren	26
Gebäudeperformance	30
Ergebnis	31
Stärken	31
Schwächen	31
Quellenverzeichnis	32
Abbildungsverzeichnis	33

BROCK COMMONS TALLWOOD HOUSE

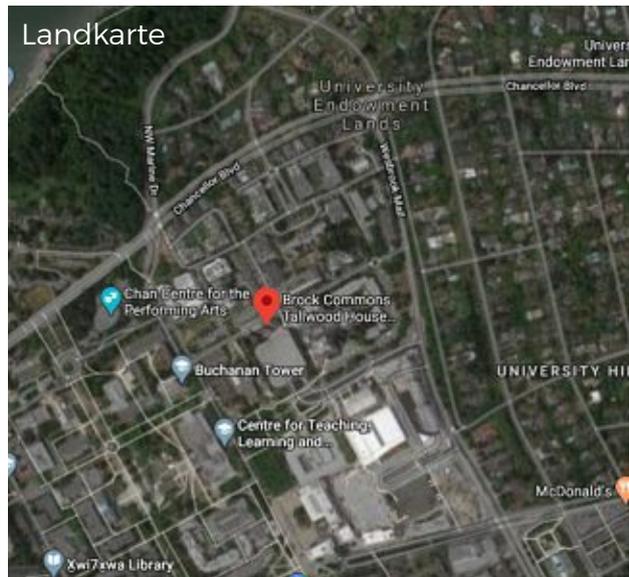
Weltkarte



Siteplan, genordet



Landkarte



Objektdaten

Projekttitlel: Brock Commons Tallwood House

Bauort: Vancouver, Kanada

Adresse: 6088 Walter Gage Road

Fertigstellung: 2017

Nutzung: Studentenwohnheim

Bauweise: Massivholz Hybridbauweise

Stockwerke: 18

Gebäudehöhe: 54 m

Bruttogeschossfläche: 15.115 m²

Bauherr: University of British Columbia

Architektur: Acton Ostry Architects Inc

Tragwerk: Fast+Epp

Brandschutz: GHl Consultants Ltd.

Bauphysik: RDH Building Science

Bauunternehmen: Seagate Structures

Objektbeschreibung

Das Brock Commons Tallwood House ist ein 18-geschossiges Massivholz-Hybrid-Bauwerk der University of British Columbia. Es ist in der Stadt Vancouver in der Provinz British Columbia, Kanada situiert. Mit seinen 54 m Bauhöhe und einer Bruttofläche von 15.115m² kann es bis zu 404 Studenten beherbergen. Jede Wohneinheit des Studentenwohnheimes besteht aus einer Küche, einem Badezimmer und zwischen einem und vier Schlafzimmern. In den unteren Stockwerken des Gebäudes sind die Lern- und Gemeinschaftsräume zu finden. Das oberste Geschoss wird als Studentenlounge verwendet.

Das Gebäude wurde im August 2017 fertiggestellt und war bis März 2019 das höchste Holzhochhaus der Welt. Entworfen wurde es von den „Acton Ostry Architects Inc.“ unter Beratung des Vorarlberger Architekturbüros „Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH“.

Das Gebäude ist auf einer rund 2.315 m² großen Bauparzelle gebaut und hat einen Fußabdruck von ca. 15x56m (840m²). Die Raumhöhen über die 18 oberirdischen Geschosse betragen in den Regelgeschossen 2,81m, im Erdgeschoss ist die Raumhöhe 5m.

Das Erdgeschoss, sowie die zwei Kerne, die sich über die gesamte Gebäudehöhe des 18-geschossigen Hybridgebäudes erstrecken, sind in Stahlbetonbauweise ausgeführt. Die restlichen Geschosse werden durch BSH-Stützen und 5-schichtige KLH-Platten mit einer Aufbetonschicht gebildet.

Die Gebäudehülle besteht aus Stahlrahmen mit Fenstern, und einer hinterlüfteten Fassade mit Holzfaserplattenverkleidung.

Technische Faktoren

Holzanteil:

Wie hoch ist der Holzanteil der Konstruktion des untersuchten Holzhochhauses?

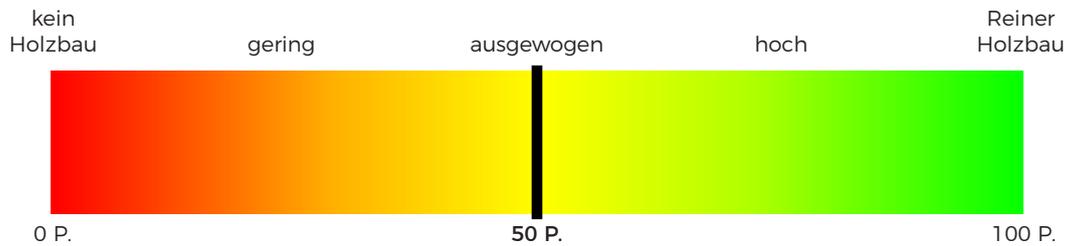


Abbildung 1: Das Tragwerk im Bau

Das Gebäude

Das gesamte Gebäude ruht auf Einzel- und Streifenfundamenten aus Stahlbeton. Durch den Überbau in Holzbauweise besteht eine Masseneinsparung gegenüber einem Gebäude in Massivbau, wodurch kleiner dimensionierte und kostengünstigere Fundamente möglich wurden.

Die geringere Masse führt allerdings auch zu einer geringeren Trägheit und höheren Kippgefahr, was vor allem in Erdbebengebieten wie British Columbia bedacht werden musste. Darum wurde die Konstruktion so entworfen, dass alle quer auf das Gebäude wirkenden Kräfte zuerst in die Kerne und von diesen in die Fundamente geleitet werden. Die Konstruktion des Gebäudes besteht im Wesentlichen aus dem Stahlbetonfundament, dem Stahlbeton Sockelgeschoss, den beiden Aussteifungskernen, sowie Stützen und Massivholzplatten, die mittels Stahlträger mit den Kernen verbunden wurden. In den Randbereichen der Massivholzplatten wurden zusätzliche Stahlträger installiert, die einerseits die Randzonen der Massivholzplatten versteifen und andererseits die Fassadenpaneele stützen.

Durch die Plattenwirkung der Massivholzdecke werden die Horizontalkräfte in die Kerne geleitet. Die Vertikalkräfte werden über die BSH-Stützen in das Sockelgeschoss und schließlich in das Fundament geleitet. Für die meisten Stützen des Gebäudes wurde Brettschichtholz verwendet. Jedoch kamen auch Furnierstreifenholz-Stützen zum Einsatz. Diese wurden vor allem in den Bereichen eingesetzt, wo zusätzlicher Kompressionswiderstand erforderlich war.

Die Gebäudehülle besteht bis auf das Erdgeschoss aus vorgefertigten, 2,81m x 8m großen Paneelen, die aus einem Stahlrahmensystem bestehen, welches mit Glasfaserisolierung ausgedämmt und mit Holzfaser Laminatpaneelen beplankt wurde. Auch die Fenster wurden bereits werkseitig installiert. Die vorgefertigten Elemente, sowie die bereits erwähnten L-Stahlträger am Rand der KLH-Platten ermöglichte eine zügige Montage und dadurch einen möglichst schnellen Witterungsschutz für die tragenden Holzelemente.

Für die Dachkonstruktion wurde ein System aus Stahlträgern und Stahlplatten auf die vorgefertigten BSH-Stützen gesetzt. Ursprünglich war auch in diesem Bereich eine Massivholzplatte als Abschluss vorgesehen, allerdings wurde aus Angst vor Feuchteschäden an der Holztragstruktur darauf verzichtet. Durch die Verbindung des traditionellen Dachsystems mit der Holzstruktur und der Gebäudehülle musste auf das gesamte Gebäude eine Toleranz von weniger als 3 mm eingehalten werden.

Der Betonanteil der Primärkonstruktion musste mittels 3D-Modell ermittelt werden. Dieses wurde anhand der veröffentlichten Grundrisse, Gebäudeschnitte, sowie der publizierten Aufbauten erstellt. Zu den Erschließungskernen und dem Sockelgeschoss, wurde ebenso die 4cm Aufbetonschicht dazugerechnet. Dadurch ergibt sich für das BCTWH ein Betonvolumen (exkl. Fundierung) von insgesamt rund 2.250m³.

Insgesamt wurden im BCTWH 2.233m³ Holz verbaut. Der Holzanteil des Gebäudes an der Tragstruktur kann somit mit rund 50% angenommen werden. Aufgrund der Ermittlungsart des Betonvolumens ist von einer gewissen Schwankung auszugehen.

Wird der tatsächliche Betonanteil des Gebäudes publiziert, ist die Bewertung entsprechend dem tatsächlichen Ausmaß anzupassen.

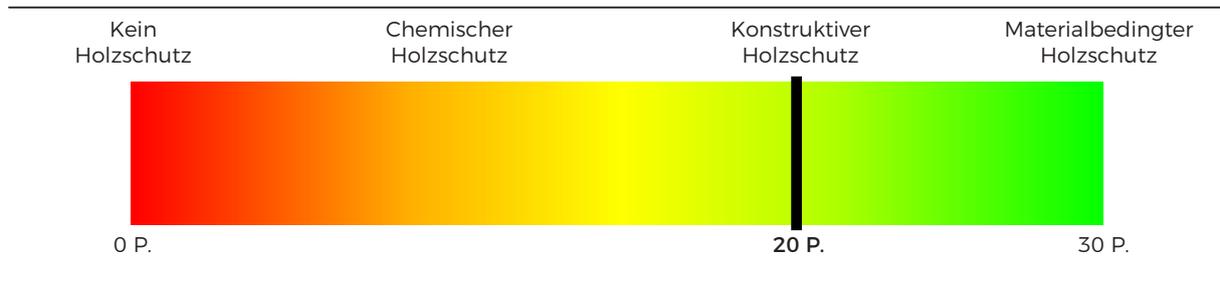
Bewertung

Mit Ausnahme vom Sockelgeschoss, den beiden aussteifenden Erschließungskernen, den Stahlrahmen der Fassadenpaneelen, sowie der Betonschicht in den Fußböden wurde die Konstruktion des BCTWH zu einem großen Teil aus Holz gefertigt. Durch den Einsatz von Massivholzplatten gegenüber einer Riegelkonstruktion konnte der Holzanteil der Konstruktion gesteigert werden. Auch in der Fassade bleibt das Holz durch den Einsatz von Holzfaserplatten durchaus spürbar. Der Holzanteil für das BCTWH liegt bei rund 50% und es wird diese Kategorie aus besagten Gründen als ausgewogen eingestuft. Das BCTWH wird deshalb mit 50 P. bewertet.

Technische Faktoren

Holzschutz:

In welcher Art und Weise erfolgt im Brock Commons Tallwood House der Holzschutz?



Holzschutz

Das neben dem Dachgeschoss üblicherweise am stärksten von Feuchtigkeit betroffene Sockelgeschoss, wurde aus Gründen des Holzschutzes in Beton gefertigt. Im Dachgeschoss wurde aus dem selben Grund auf einen Abschluss aus Massivholz verzichtet und auf ein klassisches Stahlssystem zurückgegriffen.

Für die Fassaden wurden aufgrund ihrer Wetterbeständigkeit Paneele aus Holzfasern (70%) und thermohärtenden Harzen (Trespa) eingesetzt.

Während der Bauphase wurde darauf geachtet, dass die Hülle in dem selben Takt installiert wurde wie die Geschosse, jedoch immer um ein Geschoss zurückversetzt. Bereits werkseitig wurden die Massivholzplatten mit einer Lage Versiegelung versehen. Während dem Transport wurden diese abgedeckt und nach dem Versatz mit einer zweiten Schicht versiegelt.

Der Betonschicht auf den Massivholzdecken wurde zwar hauptsächlich entwickelt um die Raumakustik zu verbessern, diese ist aber auch in der Lage den Brandschutz und die Feuchtigkeitsentwicklung des Bauteils zu verbessern.

Um die gewünschten Brandschutzeigenschaften zu erreichen wurden die freiliegenden Holzelemente mit Gipskarton eingekapselt.

Bewertung

Die überwiegenden Maßnahmen zum Erreichen des gewünschten Holzschutzes sind konstruktiver Natur. Jedoch sind auch teilweise chemische Maßnahmen in Form von Versiegelungen notwendig. Dennoch sind auf Basis des Überwiegensprinzips 20 P. in diesem Detailbereich zu vergeben.

Technische Faktoren

Effektivität der Verbindungen:

Inwiefern wurde Rücksicht auf die intrinsischen Eigenschaften (z.B. Faserrichtung) des Holzes genommen?
Wie aufwendig waren diese Vorkehrungen?



Abbildung 2: Stützenanschlüsse

Lasten

Die Anschlüsse der Bauteile mussten einerseits den Lastanforderungen gerecht werden, andererseits mussten die Eigenschaften der verschiedenen eingesetzten Materialien berücksichtigt werden. Des Weiteren musste die Übertragung von Vibrationen durch das Gebäude minimiert, die Brandschutzvoraussetzungen eingehalten, und die Systemdurchbrüche präzise und effektiv angeordnet werden.

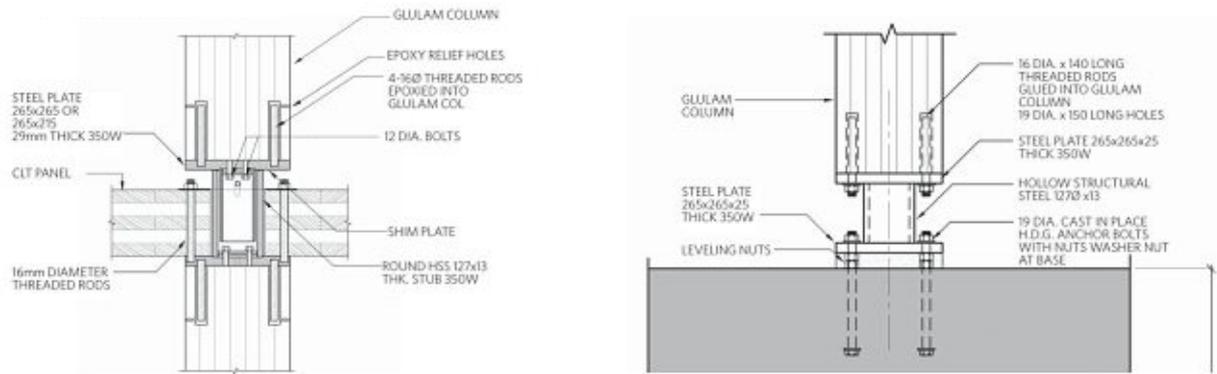


Abbildung 3: Anschlüsse zum Erdgeschoss und Regelgeschoss

Die Anschlüsse zwischen der Stahlbetondecke im ersten Obergeschoss und den Stützen wurden mittels Stahlplatten, Formrohren, Bolzen und Muttern hergestellt. Der Anschluss zur Stahlbetondecke wurde durch im Boden verankerte Stahlplatten hergestellt. In die Stütze wurde werkseitig ebenfalls eine Platte über eingeklebte Gewindestangen angebracht. Ein Hohlprofil bildet die Verbindung zwischen den beiden Bauteilen. Die Ausrichtung der Stützen konnte mittels der Bolzen („Leveling Nuts“) justiert werden. Das Hohlprofil ist sowohl an die Stahlplatte der Stütze ans Kopf- als auch ans Fußende geschweißt. Zusätzlich wurden an den oberen Stützenabschluss Gewindestangen verschweißt. Die unteren Hohlprofile haben dabei einen kleineren Durchmesser als die oberen, wodurch sie ineinander gesteckt werden konnten. Die Massivholzplatten ruhen auf den unteren Stützen. Durch diese wurden die vier Gewindestangen gefädelt und mittels Muttern befestigt. Durch diese Verbindung wurde die vertikale Lastabtragung von Stütze zu Stütze gewährleistet.

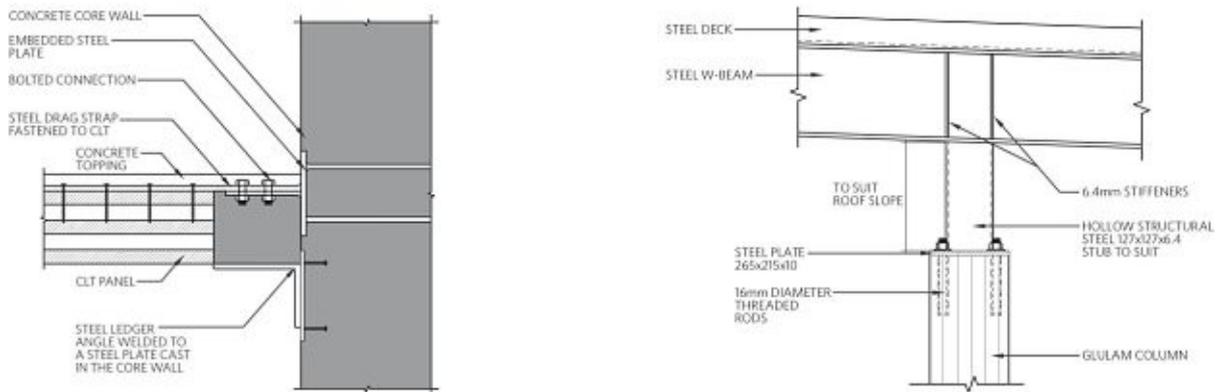


Abbildung 4: Anschlüsse zum Kern und Dach

Der Anschluss zur Dachkonstruktion ist analog zu dem von der Stützenverbindung ausgeführt.



Abbildung 5: Verbaute Anschlüsse zum Kern und Dach

Der Anschluss der KLH-Platten zu den Kernen wurde mittels rückverankerter Stahlprofile gewährleistet. Zur Installation wurden die Massivholzdecken auf den Winkelträger versetzt. 10 cm breite Stahlplatten, die oben an die Platten verschraubt wurden, wurden außerdem über Bolzen mit verschweißten Stahlelementen am Kern verbunden. Über die obere Verbindung können alle quer wirkenden Kräfte in den Kern geleitet werden. Dabei kann sowohl die Länge als auch die Breite und der Abstand zwischen den Stahlplatten je nach Traganforderungen variieren. Die untere Verbindung wird vor allem bei vertikalen und horizontalen Scherkräften bedeutsam.

Die Verbindung zwischen den Massivholzplatten wurde über verschraubte Funierholzstreifen hergestellt.

Bewertung

Beim Entwickeln der Anschlüsse wurde besonders Wert auf die Faserrichtung des Holzes gelegt - kein Bauteil erfährt hohe Lasten quer zur Faser. An den Schnittpunkten zwischen Stützen und Deckenplatten wurden Aussparungen vorgesehen, durch die mittels Stahlplatten, Formrohre, Bolzen und Dübel eine kraftschlüssige durchlaufende Verbindung zwischen den Stützen geschaffen wurde, ohne dass die Deckenplatten dadurch quer zur Faser beansprucht wurden.

Sämtliche Elemente können bereits werkseitig Computer- und CNC-unterstützt produziert werden und müssen auf der Baustelle nur noch zusammengesetzt, -gesteckt und -gebolzt werden.

Die gesamten getroffenen Maßnahmen erleichtern den Zusammenbau maßgeblich. Zwar gibt es Vergussarbeiten vor Ort, jedoch haben diese nichts mit der Verbindung der einzelnen Bauteile zu tun, sondern dienen lediglich dem Brand- und Schallschutz. Auf Basis der oben beschriebenen Verbindungen ist die Komplexität ebendieser als gering einzustufen und mit 30 P. zu bewerten.

Technische Faktoren

Effektivität / Effizienz Schall:

Welche Vorkehrungen waren notwendig um die gesetzlich erforderlichen Schallschutzwerte zu erzielen?

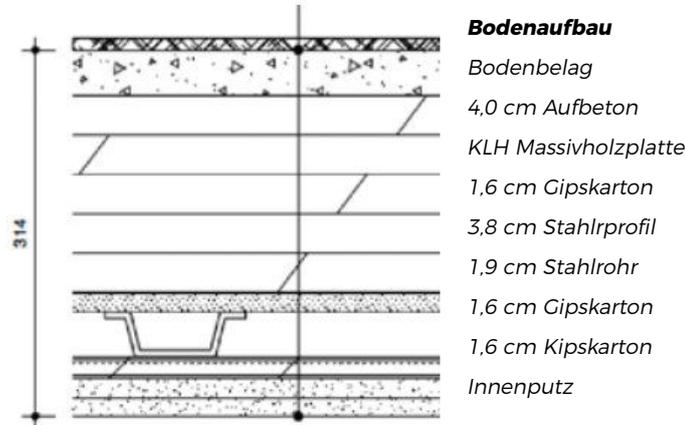
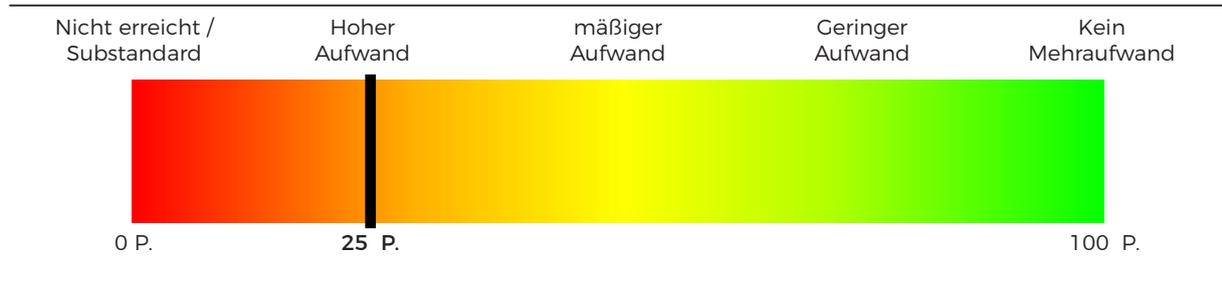


Abbildung 6: Bodenaufbau zur Erzielung der erforderlichen Schallwerte

Schallschutz

Die Schalldämmung in den Decken wurde so entworfen, dass sie einer STC (Sound Transmission Class) von 52-54 entspricht. Für die Trennwände konnte eine STC von 50-62 erreicht werden, wodurch die rechtlichen Vorgaben eingehalten werden. Die Aufbetonschicht auf den KLH-Platten erhöht das Gewicht und die Steifheit der Deckenkonstruktion. Der Aufbeton in Kombination mit der Luftschicht, welche in den Unterseiten der Decke eingearbeitet wurde, sowie Teppich und andere widerstandsfähige Bodenbeläge, reduzieren die Durchlässigkeit für Trittschall.

Bewertung

Der Einsatz der Betonschicht auf den Massivholzplatten hat die Hauptfunktion der Schalldämmung. Dies in Kombination mit der Abhängung der Decken stellt durchaus einen Arbeits- und Kostenaufwand dar. Dadurch, dass nur die Massivholzplatten angeliefert wurden, muss der Beton vor Ort aufgebracht werden. Auch die Abhängung kann erst auf der Baustelle verbaut werden. Dies führt dazu, dass sämtliche akustischen Vorkehrungen erst auf der Baustelle getätigt wurden. Der Aufwand ist deshalb als hoch einzustufen und nur mit 25 P. zu bewerten.

05

Technische Faktoren

Effektivität / Effizienz Brandschutz:

Wie hoch ist der erzielte Brandwiderstand?
Mit welchem Aufwand ist die Erzielung dieses Wertes verbunden?

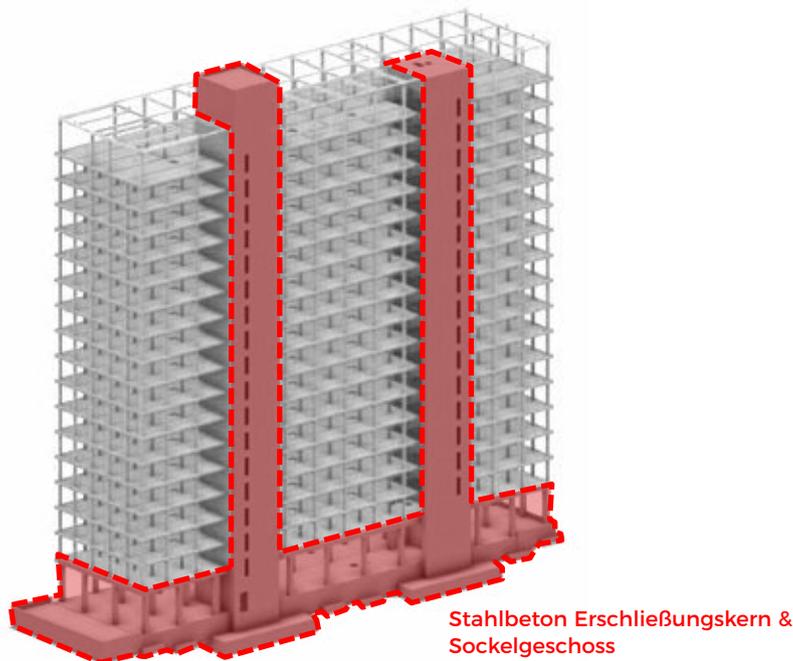
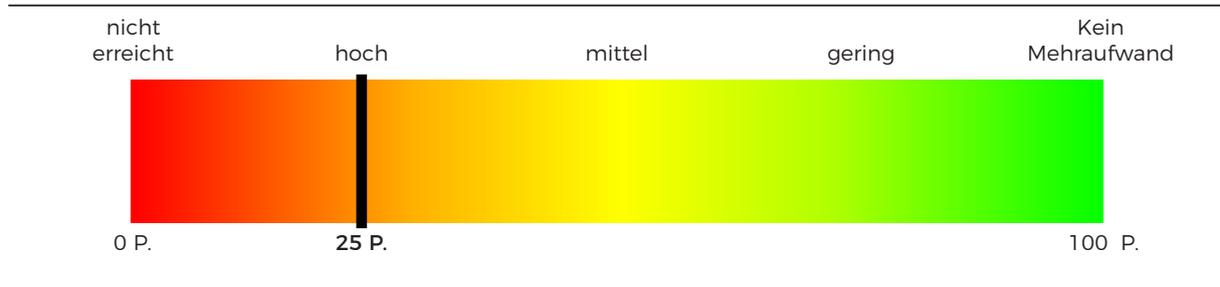


Abbildung 7: Stahlbeton Sockelgeschoss und Erschließungskerne

Brandwiderstand und Maßnahmen

Zum Erreichen der behördlich erforderlichen Brandschutzziele waren sowohl passive Brandschutztechniken, als auch aktive Brandmeldesysteme und Brandunterdrückungssysteme notwendig. Diese wurden eingesetzt um zumindest das gleiche Brandschutzniveau wie ein gleichgroßes Stahlbetongebäude zu erreichen.

Die passiven Brandschutzmaßnahmen resultieren direkt aus der Entwurfsphilosophie „keep it simple“, die bereits zu Beginn des Projekts gefestigt wurde. Als Teil dieser Strategien wurden das Sockelgeschoss und die Erschließungskerne aus nicht brennbarem Stahlbeton gebaut.

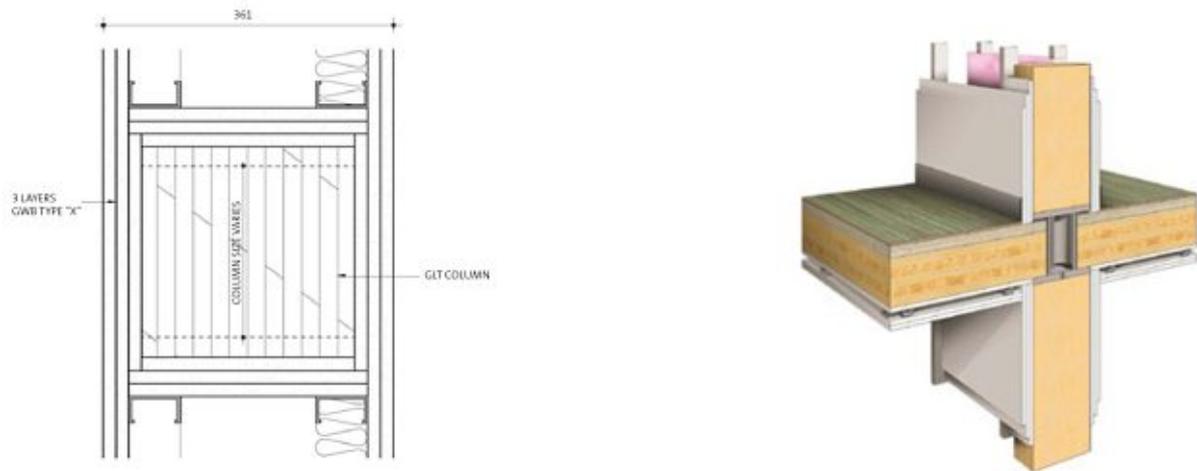


Abbildung 8: Einkapselung

Zusätzlich wurden sämtliche Massivholzbauteile und die meisten Stahlverbindungen voll eingekapselt. Dies wurde durch mehrere Lagen von Typ X Gipsplatten bewerkstelligt. Dadurch konnte ein Brandwiderstand von 2HR FRR (zwei stündiger Brandwiderstand) aller Massivholzteile (BSH-Stützen, Furnierstreifenholzstützen, KLH-Deckenplatten) erreicht werden. Auch vertikal - über die Geschosse und Schächte - entspricht der Brandwiderstand einer Klasse von 2HR FRR.

Durch die Einkapselung aller Vertikalstrukturen können auch die Trennwände einen Brandwiderstand von 2HR FRR aufweisen, obwohl nach dem gesetzlichen Erfordernis 1HR FRR genügt hätten.



Abbildung 9: Einkapselte Stützen

Die Gänge sind druckbelüftet und die Wände zwischen den Gängen und den Einheiten erreichen ebenfalls einen Schutzwert von 1HR FRR.

Der aktive Brandschutz beinhaltet ein vollautomatisches Sprinklersystem, Feuerlöschwassersystem und Nebelwände. Alle Systeme sind mit dem örtlichen Wassernetz verbunden. Wenn notwendig kann das Wasser auch aus einem Wasserreservoir vor Ort über die Energie eines Notaggregats gepumpt werden. Feuerlöscher wurden in jedem Stockwerk bereitgestellt.

Die Sprinklerköpfe sind in die Decken eingelassen um eine versehentliche Betätigung zu verhindern. Nicht gefrierende Sprinkler kamen in den Außenbereichen zum Einsatz. Das System wird elektronisch von der lokalen Feuerwehr überwacht.

Ein 20.000 Liter Wassertank mit einer Pumpe ist am Grundstück situiert. Das Wasser reicht für ungefähr 30 Minuten des gesamten Sprinklersystems.

Bewertung

Die erzielten Widerstandswerte sind als sehr hoch zu bewerten, jedoch ist die Einkapselung aller Massivholzteile erforderlich um diese zu erreichen. Neben der material- und arbeitsintensiven Kapselung, werden auch noch Sprinkleranlagen, Nebelwände, Feuerlöschinstallationen und Druckbelüftungsanlagen eingesetzt. Insgesamt kann die Effektivität des Brandschutzes und die Effizienz der eingesetzten Maßnahmen im BCTWH deshalb eher als gering (25 P.) beurteilt werden, da eine Vielzahl an Maßnahmen zum Brandschutz ausgeschöpft wurden.

Wirtschaftliche Faktoren

Effizienz der Planung:
Ist eine nachträgliche Umnutzung des Gebäudes möglich?

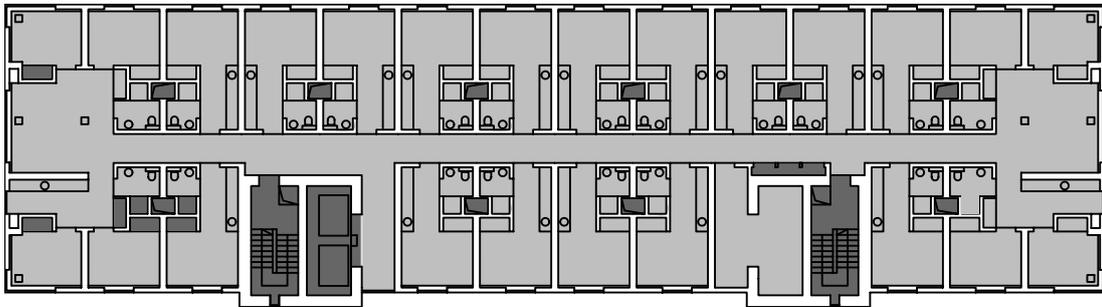
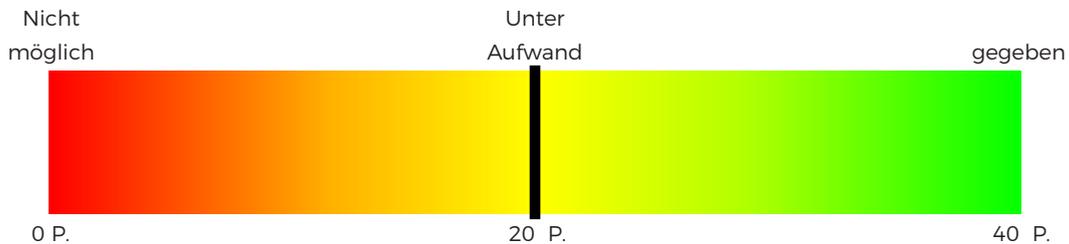


Abbildung 10: Regelgeschoss

Flexibilität, Nach- und Umnutzung

Das Gebäude wurde zwar als Studentenwohnheim konzipiert, jedoch ist aufgrund der gewählten vertikalen Lastabtragung über Stützen im Innenraum, sowie der gewählten Raumhöhe von 2,81 eine relativ flexible Umnutzung möglich. Die Zwischenwände haben keinerlei tragende Funktion und können entfernt werden.

Die Stützen und Schächte sind jedoch bei einer etwaigen Umnutzung mitzudenken. Zwar könnten stillgelegte Schächte aufgelassen werden, jedoch sind damit weitere Maßnahmen verbunden.

Bewertung

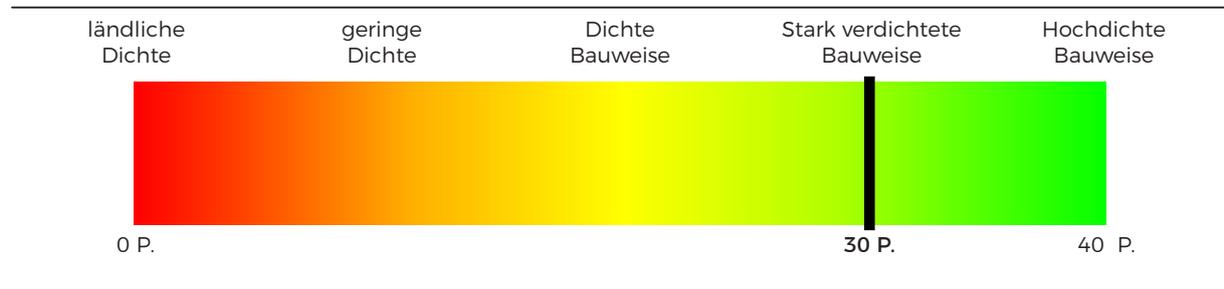
Die Umnutzbarkeit des BCTWH ist durch seine vertikale Lastabtragung durchaus gegeben, jedoch könnten die Vielzahl an Stützen und Schächten einer kosteneffizienten Umnutzung entgegenstehen, es sei denn, diese werden in den neuen Entwurf inkorporiert.

Eine Umnutzung des Gebäudes ist also unter gewissen Voraussetzungen durchaus möglich und wird diese Kategorie mit 20 P. honoriert..

Wirtschaftliche Faktoren

Verdichtete Bauweise:

In welcher städtebaulichen Dichte wurde das Gebäude ausgeführt?



Dichte der Bauweise

Das BCTWH ist mit seiner Bauhöhe von ca 54m auch in Österreich als Hochhaus klassifiziert. Auf dem 2.315m² großen Grundstück verteilen sich im BCTWH die 15.115m² Bruttogeschossfläche auf 18 oberirdische Etagen. Durch die platzsparende Positionierung der beiden Erschließungskerne, welche zur Gebäudeaussteifung und Entfluchtung verwendet werden, konnte ein kompaktes Studentenheim für bis zu 404 Studierende geschaffen werden.

Die Geschossflächenzahl (GFZ) des Projekts ist 6,5.

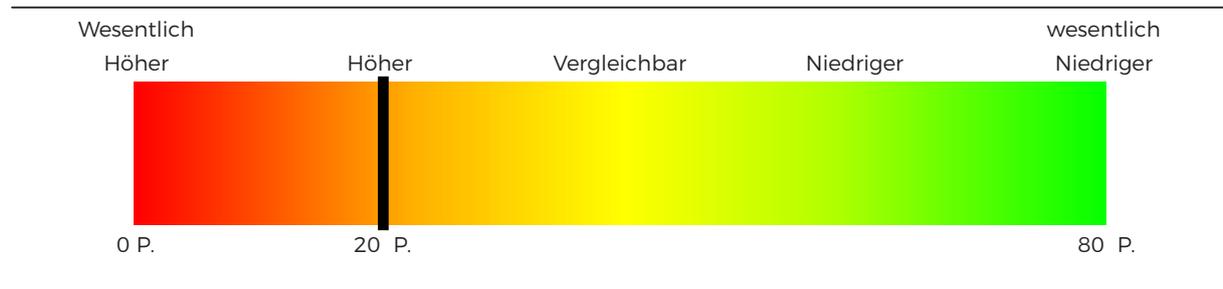
Bewertung

Mit einer Geschossflächenzahl (GFZ) von ca 6,5 liegt das BCTWH durchaus in einem Bereich der stark verdichteten Bauweise (30 P.).

Wirtschaftliche Faktoren

Kosten:

Wie hoch sind die Kosten gegenüber einem konventionell
(in Stahlbeton o. Stahl) errichteten Hochhaus?



Kostenübersicht

Für den Bau des BCTWH wurde zunächst ein Budget von insgesamt 30 Mio. Dollar veranschlagt, was rund 191\$ per Quadratfuß bedeutete. Diese Kosten wurden angenommen, weil kurz zuvor eine weitere Studentenunterkunft das „UBC student housing“ fertiggestellt wurde, und dies den tatsächlichen Baukosten entsprach. Jedoch war sehr schnell erkennbar, dass diese Kosten selbst für eine Bauweise in Stahlbeton utopisch waren, da sich die Baukosten seither erhöht hatten. Die Baukosten für ein Gebäude in Stahlbetonbauweise wären im Jahr 2017 bei rund 210 bis 215\$ pro Quadratfuß gelegen. Das BCTWH konnte schließlich um rund 230\$ pro Quadratfuß errichtet werden, was einer Preissteigerung zur anfänglichen Annahme um 39\$ je Quadratfuß bzw. einer rund 17 prozentigen Erhöhung gleichkommt. Gegenüber der Bauweise in Stahlbeton im Jahr 2017 wurde der Preis jedoch immer noch um rund 20\$ pro Quadratfuß überstiegen, was ein 9% Mehrpreis für den Holzbau bedeutet. Pro Quadratmeter sind für die schlussendlichen Baukosten 2.555\$ anzusetzen. Diese sind zum großen Teil aber auch auf den Innovationscharakter des Gebäudes zurückzuführen, denn aufgrund des Brandschutzes wurden sämtliche Bauteile mit drei Lagen Gipskarton eingekapselt. Nach dem heutigen Standpunkt hätte man auf eine Lage verzichten können und dennoch die vorgegebenen Brandschutzwerte erzielen können. Würde man auf eine 2-lagige Kapselung für den Brandschutz setzen, könnten rund 9\$ pro Quadratfuß eingespart werden, und den Preis des Holzbaus sehr nahe an den des Stahlbetonbaus annähern.

Bewertung

Vor dem oben genannten Hintergrund und den Mehrkosten gegenüber dem Stahlbetonbau von rund 9% je Quadratfuß können in dieser Detailkategorie gemäß dem Leitfaden 20 P vergeben werden.

09

Wirtschaftliche Faktoren

Vorfertigung

Wie hoch ist der Vorfertigungsgrad des Gebäudes?

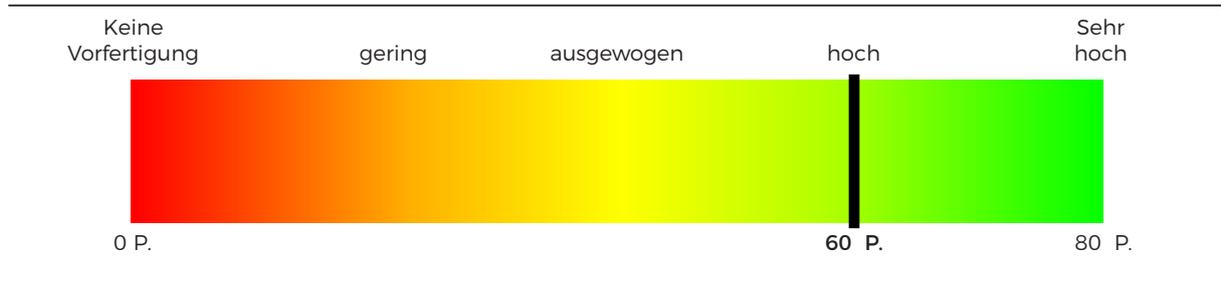


Abbildung 11: Vorgefertigtes KLH-Deckenelement

Grad der Vorfertigung

Der überwiegende Teil des BCTWH wurde im Werk vorgefertigt und auf der Baustelle zusammengefügt. Das Stahlbetonstreifenfundament, das darüberliegende Sockelgeschoss und die beiden Erschließungskerne wurden jedoch vorab in Ort betonbauweise errichtet.



Abbildung 12: Vorgefertigte BSH-Stützen

Nach der Fertigstellung der beiden Kerne wurden sukzessive die vorgefertigten BSH- und Furnierschichtstützen, die KLH-Deckenplatten, sowie die fertigen Fassadenpaneele auf die Baustelle geliefert und versetzt.



Abbildung 13: Vorgefertigte Fassadenpaneele

Aufgrund von Brandschutz und akustischen Anforderungen musste vor Ort jedoch je Stockwerk eine Schicht Beton aufgebracht werden, sowie eine Kapselung der Bauteile erfolgen.

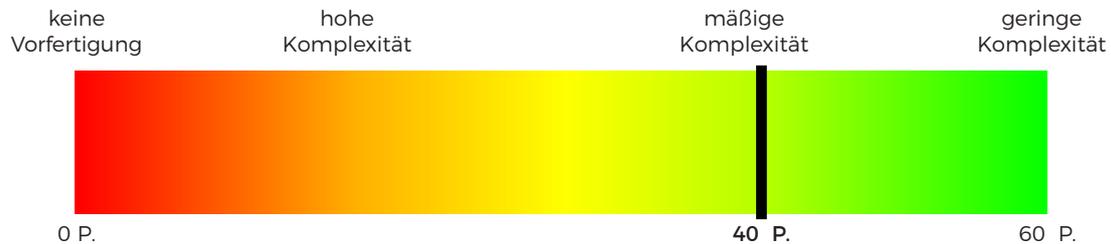
Bewertung

Es konnte bei BCTWH ein durchaus hoher Vorfertigungsgrad erzielt werden. Anders als bei anderen Projekten ist der Ansatz beim BCTWH, dass die Betonschicht erst vor Ort aufgetragen wird. Einerseits erleichtert diese Maßnahme die Fertigung der Teile, andererseits wird dadurch die Ausbauezeit aufgrund der notwendigen Trocknung durchaus erhöht. Auch die Kapselung nimmt gegenüber anderen Maßnahmen wesentlich mehr Zeit in Anspruch. Jedoch liegt der Vorfertigungsgrad dennoch über 50% wodurch in dieser Detailkategorie 60 P. vergeben werden können.

Wirtschaftliche Faktoren

Vorfertigung

Wie komplex/aufwendig sind die vorgefertigten Teile? Wie wirkt sich dies auf die Fertigung und die Montage der Teile aus?



Massivholzstruktur

Die überwiegende Tragstruktur besteht aus KLH-Deckenplatten, BSH- und Furnierstreifenholzstützen mit Stahlverbindungen.

Es wurde bereits während des Entwurfsprozesses ein digitales Abbild des Gebäudes geschaffen. Dies konnte vielseitig verwendet werden, unter anderem zur Echtzeit-Kostenkontrolle, zur Erstellung von Montageabläufen und zur visuellen Repräsentation des Gebäudes. Dabei wurden alle Massivholzelemente in VDC (Virtual Design and Construction) modelliert und schließlich die Geometrie, inklusive aller Einschnitte, Löcher und Durchbrüche im STP-Format (weit verbreitetes 3D-Dateiformat) exportiert.

Diese wurden dann vom jeweiligen Bauteilproduzenten noch auf die eigenen Geräte angepasst und durch die CNC-Maschinen gefertigt. Diese fertigten alle KLH-Platten, inklusive der Durchbrüche, sowie beidseitig die Verbindungslöcher der BSH- und Furnierstreifenholzstützen.

Die Stahlverbindungen wurden separat produziert, jedoch vom Massivholzproduzenten als Teil des Vorfertigungsprozesses auf den Stützen angebracht. Zur Qualitätssicherung und Nachverfolgung wurde jedes Teil mit einer einzigartigen Kennzeichnung versehen.

Gebäudehülle

Die Elemente für die Gebäudehülle bestehen aus einer Stahlrahmenkonstruktion, Fensterelementen, einer Hinterlüftungsebene und Holzfaserplatten. Diese wurden vom Produzenten extra nach den vorgegebenen Qualitätsanforderungen entwickelt. Jedes Geschoss besteht aus 22 Hüllelementen, zwei verschiedenen sich spiegelnden Eckelementen, sowie zwölf Flachelementen wovon sich acht ebenfalls spiegeln.

Jedes Teil wurde in nachfolgender Reihenfolge werkseitig gefertigt:

Stahlrahmen, eine Lage Glasfaser-Gips-Paneele, Steinwolle, Holzfaser Außenpaneele und schließlich die Installation der Fenster. Die innere Isolierung, Dampfbremse, sowie die letzte Lage Gipskarton wurden erst auf der Baustelle mit den Ausbauarbeiten fertiggestellt.

Montage

Die Reihenfolge der Montage, sowie die Reihenfolge der Beladung der LKWs und die Anlieferungszeiten wurden vorab unter Koordinierung aller Hersteller und Gewerke definiert. Dadurch konnte eine möglichst hohe Wiederholungsrate und Planbarkeit des Bauablaufs gewährleistet werden. Die Elemente wurden dabei, in gegensätzlicher Reihenfolge wie sie schließlich verbaut wurden, auf die LKWs geladen. Durch die genaue Planung wurden die Elemente direkt vom LKW auf die gewünschte Stelle gehoben und sofort installiert.

Die KLH-Platten wurden angehoben und über den gewünschten Stellen mit leichter Neigung abgesenkt, um den Installationsprozess zu vereinfachen. Nachdem alle 29 Platten eines Geschosses verlegt wurden, sind diese untereinander mit Sperrholz verschraubt worden. Schließlich wurden die Rückverankerungen an die Kerne gebolzt. In jeder Etage sind zwei Stützenbündel auf die entstandene Plattform gehoben und schließlich händisch an ihrer Stelle versetzt worden.



Abbildung 14: Verbindung der Platten und Rückverankerung

Vor der Installation der letzten KLH-Ebene mussten die Stützen temporär diagonal unterstützt werden, damit diese nicht kippten oder sich drehen.

Für die gesamten Installationsarbeiten der Massivholzelemente war ein Team aus neun Leuten ausreichend.



Abbildung 15: Montage der vorgefertigten Elemente

Um die Hüllelemente zu versetzen mussten zwei Arbeiter den unteren Teil in die vorgesehene Verbindung einpassen. Anschließend fixierten zwei weitere Arbeiter in der darüberliegenden Etage das Paneel mit Bolzen an den L-Randprofilen. Effektiv hängt dieses nun von dem oberen Randprofil, wird aber vom unteren in Position gehalten. Die L-Profile die zusätzlich zur Aussteifung der Deckenperimeter dienen, wurden leicht vorstehend von den KLH-Elementen angebracht, damit die Paneele möglichst gerade übereinander installiert werden konnten.

Bewertung

Die Elemente konnten zum größten Teil maschinell vorgefertigt werden. Aufgrund der Einfachheit und großen Wiederholungsrate der Elemente konnten diese problemlos ohne großen Aufwand hergestellt werden. Lediglich die Fassadenelemente bedurften ein wenig Mehraufwand. Dennoch werden für die Bauteile 30 P. vergeben. Aufgrund der Reduziertheit und Simplizität der Bauteile konnten die Elemente durch wenig Personal zügig installiert werden, jedoch ist ein erhöhter Aufwand im Ausbau zum Erzielen der Schall- und Brandschutzziele die Folge, durch die Ortbetonschicht, sowie die Einkapselung aller Holzbauteile ist der Aufwand für die Montage insgesamt dennoch als hoch einzustufen und nur mit 10 P. zu bewerten.

Wirtschaftliche Faktoren

Projektlaufzeit

In welchem Zeitrahmen konnte das Gebäude errichtet werden? Konnte durch innovative Baumethoden Zeit eingespart werden?

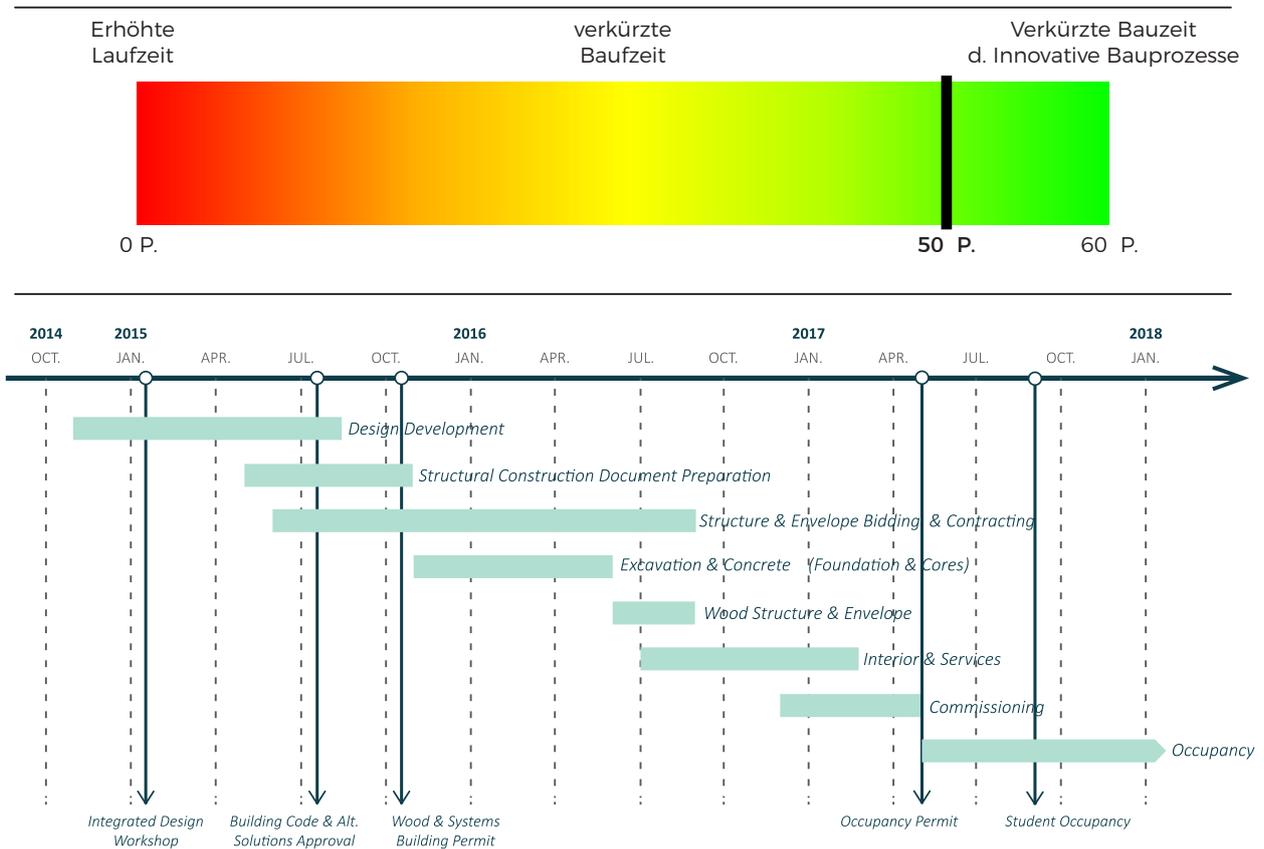


Abbildung 16: Zeitplan

Baublauf und Bauzeit

Der Entwurf und die Erlangung der Bewilligung dauerten 8 Monate. Die Bauzeit ab November 2015 bis zur Fertigstellung im Mai 2017 dauerte insgesamt 18 Monate. Der Bau kann dabei in drei Phasen eingeteilt werden.

- Stahlbeton
- Massivholzstruktur
- Gebäudehülle, Ausbau und Haustechnik

Noch vor Baubeginn wurde ein Gebäudeteil 1:1 gebaut und getestet um einige Entwürfe, Lösungsansätze und Annahmen zu validieren und um die Baubarkeit und die richtige Sequenzierung des Bauablaufs festzustellen. Das 1:1 Modell war eine einzigartige Möglichkeit Hindernisse vorab zu entdecken und Verbesserungen vorzunehmen.

Das Betonfundament, das Sockelgeschoss sowie die beiden freistehenden Stahlbetonkerne wurden in sieben Monaten gebaut. Die Betonarbeiten erfolgten über die Wintermonate und wurden noch vor allen anderen Gebäudeteil fertiggestellt.

Dies machte es möglich die Massivholzkonstruktion während der trockeneren Monate zu errichten. Obwohl die Liftkerne bereits frühzeitig fertiggestellt wurden, gab es keinen Bauaufzug. Stattdessen verwendete man den Kran um die Elemente in die oberen Etagen zu heben.

Bemerkenswert ist dabei, dass die Installation des Holztragwerks nur rund drei Monate in Anspruch nahm.

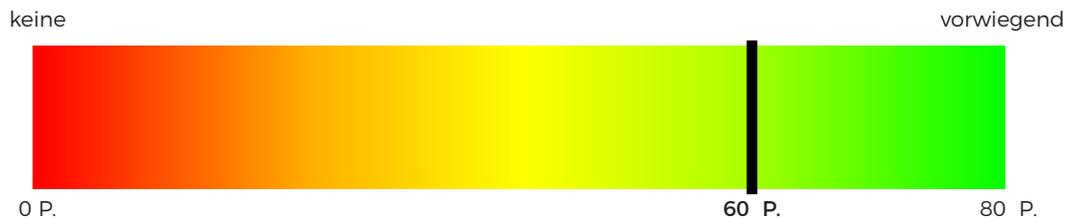
Bewertung

Durch den hohen Grad an Vorfertigung und Präzision der Bauteile (Vollfertigteile) sowie der computergestützten Planung und Taktung des kompletten Bauablaufs, angefangen bei der richtigen Beladung des LKWs bis hin zur Montage der Elemente, konnte insgesamt eine verkürzte Bauzeit erreicht werden. Auch der Entwurf und das Genehmigungsverfahren konnte trotz hoher Anforderungen in kurzer Zeit abgeschlossen werden. Auf dieser Basis können in diesem Detailbereich 50 P. Vergeben werden.

Hybride Faktoren

Nachhaltigkeit

Wurde bei dem Bau des Holzhochhauses darauf Wert gelegt nachhaltige Baustoffe zu verwenden?



Nachhaltigkeit der eingesetzten Baustoffe

British Columbia hat eine lange Holzbautradition und eine dominierende Holzwirtschaft. Dennoch werden in der walddreichen Provinz vorwiegend kleine Baloon-Frame-Häuser gebaut.

Massivholz ist das überwiegend verwendete Material im BCTWH. Die BSH-Stützen wurden aus Douglasienholz gefertigt. Die KLH-Platten aus SPF (Spruce, Pine, Fir = Fichte, Kiefer, Douglasie) stammen allesamt von drei Produzenten aus der Provinz. In dieser wird jährlich weniger als 0,33% des Waldbestandes geerntet.

Es wurde großen Wert auf die Verwendung der üppig vorhandenen lokalen Materialien gelegt. Durch den hohen Anteil an Holz, konnte der Beton und Stahlverbrauch möglichst reduziert werden. Dabei verfolgte das Designteam den Ansatz, Materialien dort einzusetzen wo sie am besten geeignet sind.

Bei der Dämmung wurde wie bei den meisten Holzgebäuden aus Brandschutzgründen auf Steinwolle zurückgegriffen.

Es wurden 38% regionale Produkte und 19 % recycelte Produkte verwendet, und dabei 76% weniger Abfall produziert als bei vergleichbaren Gebäuden auf dem Campus.

Bewertung

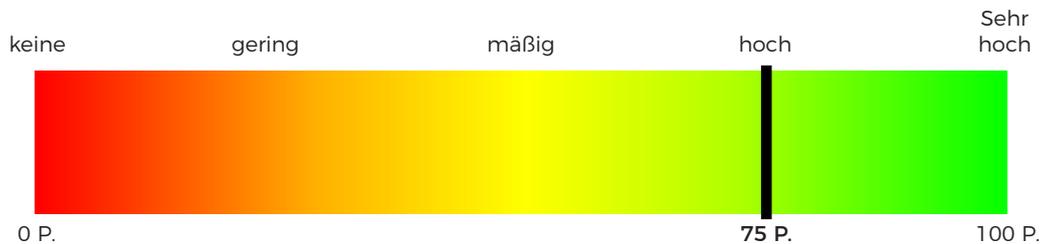
Im gesamten Bauwerk wurde sehr großen Wert auf nachhaltige Baustoffe gesetzt. Die Erschließungskerne, sowie das Sockelgeschoss und das Fundament wurden dabei bewusst in Ortbeton gehalten. Der Einsatz von regionalen Holzprodukten in einem Großteil des Gebäudes und der Einsatz von Recyclingmaterialien bedeutet eine hohe Wertschätzung gegenüber nachhaltigen Baustoffen. Diese Detailkategorie wird deshalb mit 60 P. bewertet.

13

Hybride Faktoren

Nachhaltigkeit

Wie viele CO₂-Äquivalente konnten durch den Bau dieses Holzhochhauses eingespart werden?



Eingesparte CO₂-Äquivalente

Der hohe Stellenwert des LifeCycle Konzepts beim BCTWH resultiert aus einem Entwurf mit einer geringen CO₂ Bilanz sowohl in der Errichtung als auch im Betrieb. Auf Basis einer 60 Jahr „cradle-to-grave“ (Wiege zum Grab) Life Cycle Analyse bewies das BCTWH hervorragende CO₂-Werte. Verglichen mit einem gleichen konventionellen Stahlbeton Gebäude, erreicht das BCTWH Einsparungen in Höhe von 43%.

Durch den Einsatz von 2.233 m³ Holz in der Tragstruktur alleine werden rund 1.753 Tonnen CO₂ gespeichert. Weitere 679 Tonnen CO₂ werden durch die Wahl von Holz anstelle von Stahl, Ziegel oder Beton als Baumaterial eingespart. Insgesamt konnten so 2.432 Tonnen CO₂ Äquivalente eingespart werden.

Bewertung

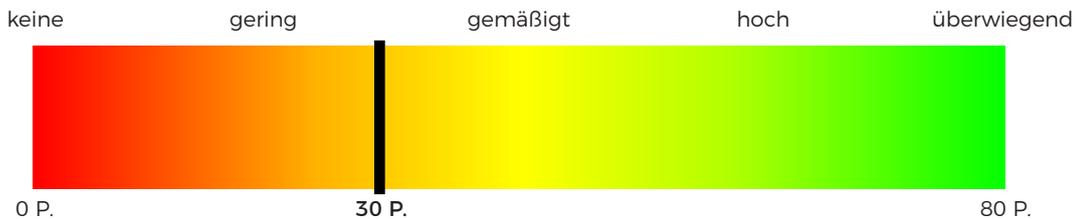
Da dem Vergleichswert mit einem konventionellen Gebäude auch die Werte des Stahlbetons gegenüberstehen und sich dadurch die Bilanz verbessert, erfolgt die Berechnung zusätzlich anhand des Leitfadens. Für das eingesetzte Holz werden auf Basis des gespeicherten Wertes von 1.753.000 kg CO₂ Äq. rund 115 kg CO₂ Äq. / m² BGF erzielt.

Die Einsparung von CO₂-Äquivalenten BCTWH kann aufgrund des hohen Einsatzes an Massivholz als überdurchschnittlich bewertet werden und führt zu einer Bewertung mit 75 P.

Hybride Faktoren

Materialkreislauf

Gibt es für dieses Holzhochhaus ein Rückbaukonzept?
Wie recyclelbar ist das Gebäude?



Rückbaukonzept & Recyclierbarkeit

Ein dezidiertes Rückbaukonzept für das BCTWH liegt nicht vor. Jedoch wurde darauf geachtet, hochrecyclingfähige Materialien wie Holz möglichst oft einzusetzen.

Generell verfügt das BCTWH über einige leicht lösbare Verbindungen, wie zum Beispiel die Steckverbindungen der Stützen, was eine Wiederverwertung begünstigt. Jedoch sind einige Bauteile, unter anderem die Ortbetonschicht auf den KLH-Platten als schwer trennbar zu bewerten was eine möglichst sortenreine Trennung der Materialien erschwert. Die massiven Kerne, das Sockelgeschoss und die Fundamente aus Stahlbeton, sind zwar grundsätzlich recyclelbar, jedoch kommt recycelter Beton aufgrund hoher Kosten und veränderter Materialeigenschaften oft nicht zum Einsatz.

Als Dämmmaterial wurde aufgrund der guten Brandschutzeigenschaften auf Steinwolle gesetzt, dieses ist weniger gut für Recycling geeignet, jedoch bieten einige Hersteller die Rücknahme von Steinwollämmstoffen an.

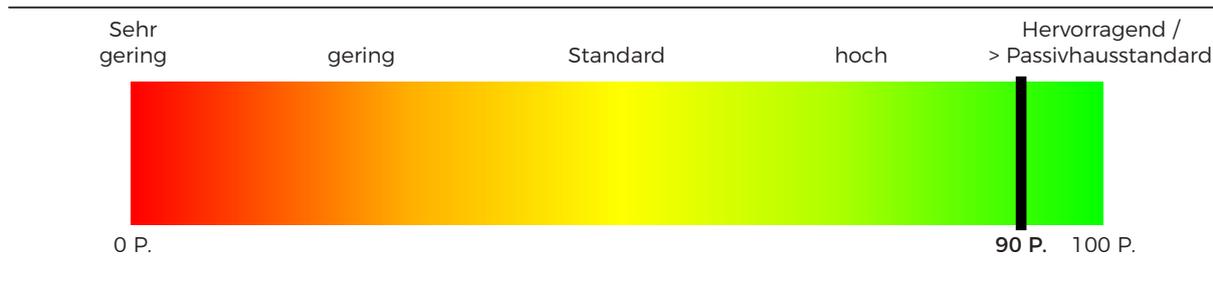
Bewertung

Die festen Verbindungen der Deckenplatten machen eine zerstörungsfreie Demontage der Bauteile unmöglich. Eine Wiederverwendung von Stützen und Fassadenplatten wäre unter gewissen Umständen jedoch möglich, da diese Verbindungen als leicht lösbar zu klassifizieren sind. Grundsätzlich verfügt das BCTWH im Vergleich zu konventionellen Massivbauten über eine gute Recyclelbarkeit. Da Holzhochhäuser aufgrund ihrer grundlegenden Konzeption einen hohen Anspruch an die Nachhaltigkeit haben, jedoch die Demontage Bauteile nicht zerstörungsfrei erfolgen kann, kann die Recyclingfreundlichkeit und Wiederverwendbarkeit des BCTWH nur mit 30 P. bewertet werden.

Hybride Faktoren

Energieeffizienz

Wie energieeffizient ist das Gebäude im laufenden Betrieb?



Energieeffizienz

Das BCTWH verfügt über ein LEED Gold Zertifikat (Leadership in Energy and Environmental Design). Gegenüber einem konventionellen Wohngebäude spart das BCTWH 25 % an grauer Energie im Bau sowie im Betrieb ein.

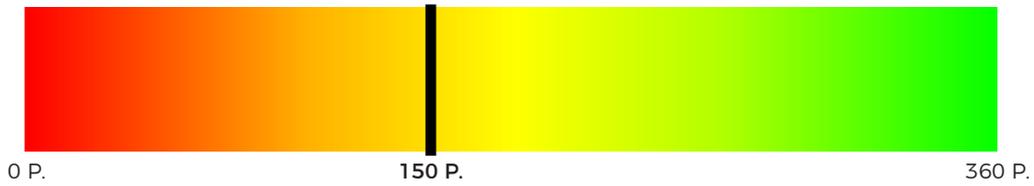
Das Gebäude verfügt über einen Heizwärmebedarf von 13,5 kWh/m² und entspricht den in diesem Punkt maximal zulässigen Heizwärmebedarf eines Niedrigstenergiehauses. Das BCTWH ist mit dem lokalen Fernwärmenetz verbunden, welches die Heizung und Warmwasser beliefert. 63 % der Energie wird durch dieses zur Verfügung gestellt, weitere 30 % der Wärme wird durch eine Bioenergie Forschungseinrichtung geliefert. Diese deckt außerdem 5% des Stromverbrauchs des gesamten Campus, was bedeutet, dass zumindest 5 % des Strombedarfs aus erneuerbaren Ressourcen stammt.

Bewertung

Das BCTWH ist als Niedrigstenergiehaus rechnerisch durchaus als energieeffizient zu beurteilen. Der tatsächliche Energieverbrauch hängt jedoch von den Nutzern des Gebäudes ab. Weiters wird aufgrund des Einsatzes von Fernwärme und biologischen Brennstoffen die Bewertung auf 90 P. verbessert.

GEBÄUDEPERFORMANCE

Technische Performance



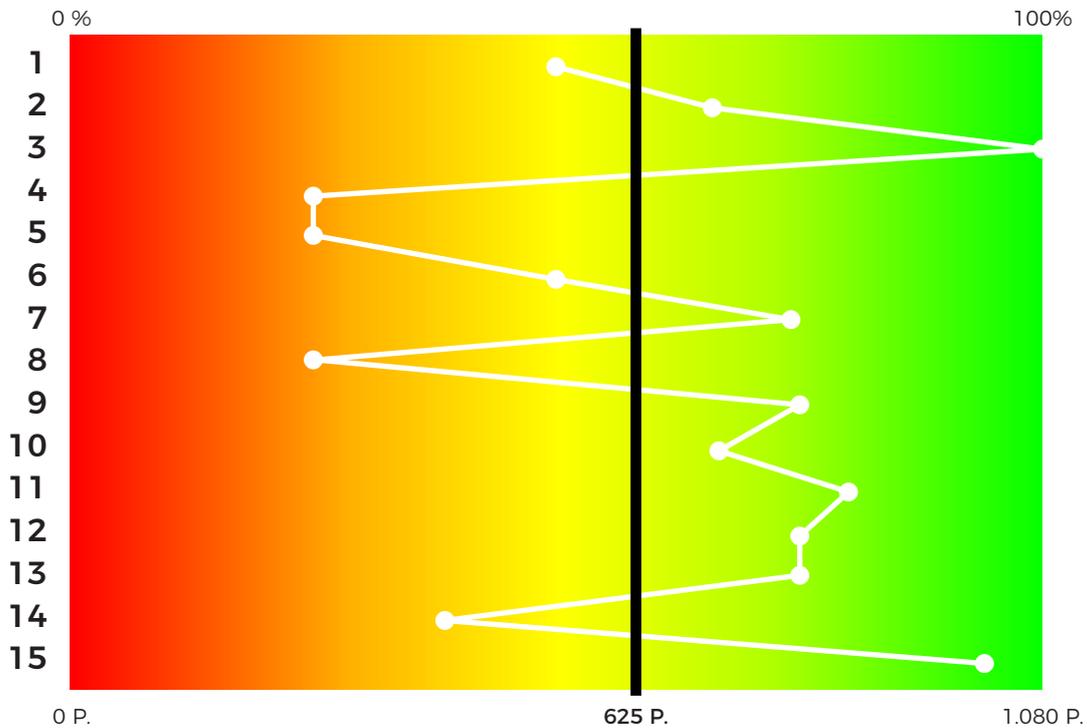
Wirtschaftliche Performance



Hybride Performance



Gesamtperformance



Ergebnis

Das BCTWH in Vancouver war zur Zeit seiner Errichtung das weltweit höchste Holzhybridgebäude. Das Gebäude schaffte es innerhalb kurzer Zeit von der Idee zum fertigen Gebäude. Die Holzkonstruktion wurde in nur 3 Monaten errichtet.

Aufgrund von Auflagen der Behörden war es notwendig, die gesamte Holztragkonstruktion einzukapseln. Um die notwendigen Schallwerte für die Bauteile zu erreichen wurde eine 4cm starke Betonschicht auf den KLH-Platten, Deckenabhängungen und Teppichböden gesetzt. Trotz des hohen Vorfertigungsgrad wurde entschieden, diese Maßnahmen erst vor Ort zu setzen, was die Ausbauzeit verlängerte. Jedoch war der Designansatz der Architekten stets „Keep it simple“, was die Fertigung der einzelnen Elemente dafür stark erleichterte.

Mit einer Gesamtpformance von 625 Punkten schneidet das BCTWH als Pilotprojekt für Kanada mit einer durchaus passablen Bewertung ab, jedoch gibt es aufgrund des Innovationscharakters, den ein solches Projekt aufweist, sowohl Stärken als auch Schwächen die an dieser Stelle erwähnt werden müssen:

Stärken

- Hoher Vorfertigungsgrad und stark verkürzte Bauzeiten
- Kombination aus KLH, Brettschichtholz, Furnierstreifenholz zu effizientem Bausystem
- Simple Bauteilkomponenten, die durch wenig Personal einfach und schnell montiert werden konnten
- Hoher Nutzungsgrad von computergestützten Modellen
- Gesamtes Holz aus der direkten Umgebung
- Gute städtebauliche Dichte und Planungseffizienz
- Flexibilität durch Stützen anstatt tragender Wände

Schwächen

- Viele Maßnahmen zur Erzielung der Brand- und Schallschutzziele konnten erst auf der Baustelle gesetzt werden (Aufbeton, Abhängungen, Einkaspelung)
- Trennbarkeit von Verbundbaustoffen nicht zerstörungsfrei möglich
- Holzbau im Gebäudeinneren durch Kapselung nicht spürbar
- Stahlrahmen für die Fassadenelemente
- Zweifachversiegelung der KLH-Platten während der Konstruktion notwendig

Quellenverzeichnis

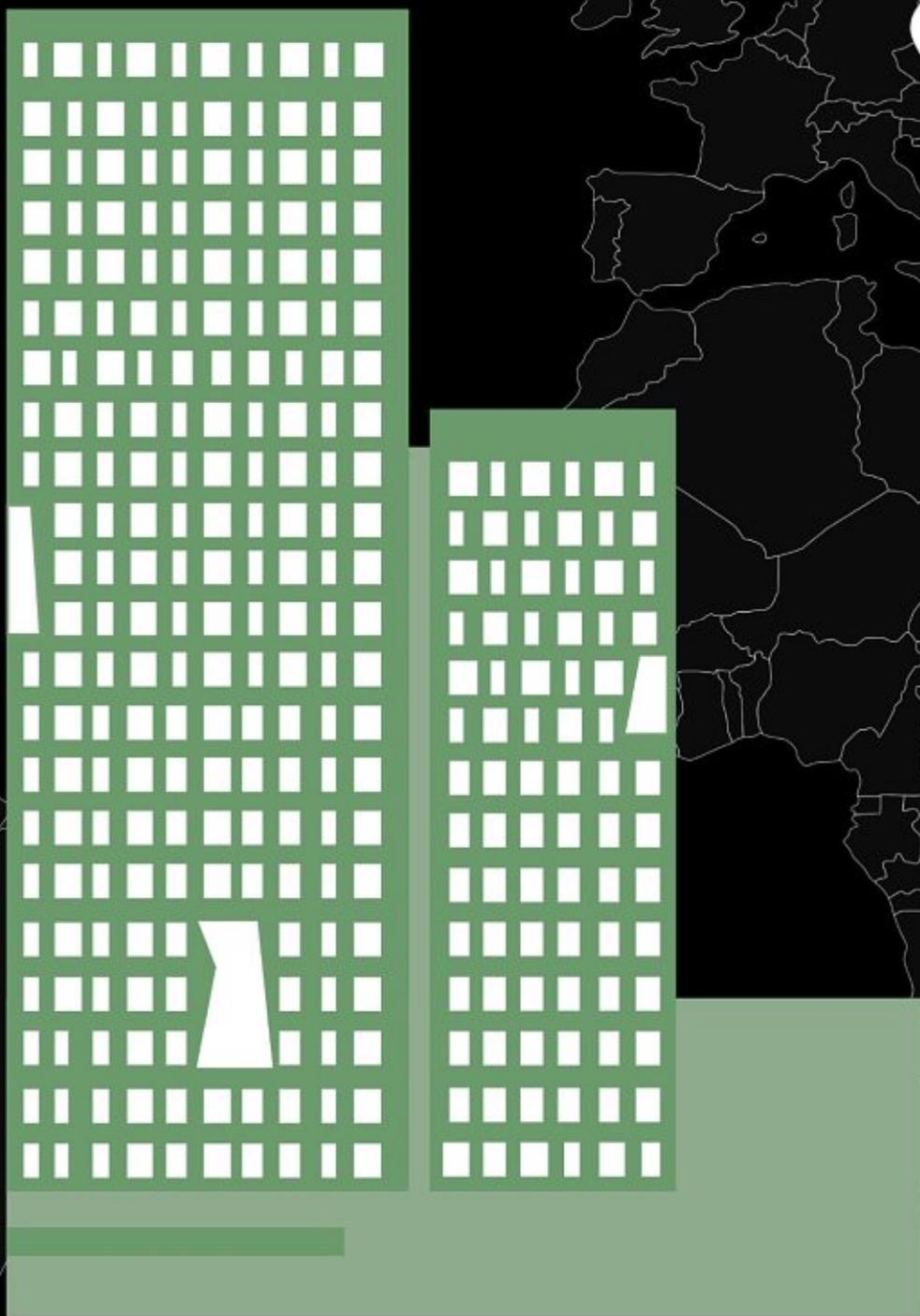
Objektdatei	GREEN Michael, Hoch Bauen mit Holz, 1. Auflage - Basel, Birkhäuser Verlag 2017, S. 158-163 https://artec.no/prosjekter/treet/ (02.03.2020)
Objektbeschreibung	UBC, Brock Commons Tallwood House - the advent of tallwood structures in Canada, A Case Study, the Canadian wood Council, 2018 S. 3-4
Punkt 1	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 4-22 https://www.holzbaukunst.at/holzbau/objekt/518.html (28.06.2020)
Punkt 2	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 4-23
Punkt 3	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 4-23 UBC, Brock Commons Tallwood House: Construction Overview, 2017 S. 16
Punkt 4	NATURALLY WOOD, Brock Commons Tallwood House; Design and Preconstruction Overview, 2017 S. 19
Punkt 5	NATURALLY WOOD, Brock Commons tallwood house: Code Compliance 2016 S. 12 UBC, Brock Commons Tallwood House - the advent of tallwood structures in Canada, A Case Study, the Canadian wood Council, 2018 S. 13-14
Punkt 6	https://www.hkarchitekten.at/de/projekt/student-residence-at-brock-commons/ (18.02.2020)
Punkt 7	Osterreichische Gesellschaft für Architektur, Umbau 29: Umbau. Theorien zum Bauen im Bestand, Band 29 - Wien, Birkhäuser Verlag 2017 S. 95
Punkt 8	HADEN Bruce, Reaching new heights, Canadian Architect (Magazin) 02/2017, S. 34-37
Punkt 9	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 14-19
Punkt 10	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 14-19
Punkt 11	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 8
Punkt 12	https://www.naturallywood.com/resources/brock-commons-tallwood-house-chapter-1-overview (23.03.2020)
Punkt 13	UBC, Brock Commons Tallwood House - the advent of tallwood structures in Canada, A Case Study, the Canadian wood Council, 2018 S. 8
Punkt 14	https://sabmagazine.com/wp-content/uploads/2018/07/brockcommons.pdf (20.02.2020)
Punkt 15	https://sabmagazine.com/wp-content/uploads/2018/07/brockcommons.pdf (20.02.2020) https://www.nextroom.at/building.php?id=39297&sid=44693&inc=pdf (20.02.2020)

Abbildungsverzeichnis

Deckblatt	https://www.hkarchitekten.at/de/projekt/student-residence-at-brock-commons/ (11.02.2020)
Abbildung 1	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 5
Abbildung 2	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 17
Abbildung 3	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 14
Abbildung 4	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 15
Abbildung 5	Fotos: Acton Ostry Architects
Abbildung 6	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 19
Abbildung 7	NATURALLY WOOD, Brock Commons Tallwood House; Design and Preconstruction Overview, 2017 S. 11
Abbildung 8	NATURALLY WOOD, Brock Commons tallwood house: Code Compliance 2016 S. 13
Abbildung 9	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 23
Abbildung 10	Eigene Darstellung nach Hermann Kaufmann Architekten ZT GmbH
Abbildung 11-13	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 21, 23, 25
Abbildung 14	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 16
Abbildung 15	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 4, 19
Abbildung 16	NATURALLY WOOD, Construction of a tall wood building Brock Commons tallwood house: Construction Overview 2017 S. 9

7.4 HOHO

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.





HOHO - WIEN TALL WOOD SCORE

INHALT

Objektdaten	3
Objektbeschreibung	4
Technische Faktoren	5
Wirtschaftliche Faktoren	14
Hybride Faktoren	25
Gebäudeperformance	30
Ergebnis	31
Stärken	31
Schwächen	31
Quellenverzeichnis	32
Abbildungsverzeichnis	33

Weltkarte



Objektdaten

Projekttitlel: HoHo

Bauort: Wien, Österreich

Adresse: Janis Joplin Allee 26

Fertigstellung: 2020

Nutzung: Mischnutzung

Bauweise: Holz-Beton-Hybridbauweise

Stockwerke: 24

Gebäudehöhe: 84 m

Nutzfläche: 19.500 m²

Bauherr: Cetus Baudevelopment GmbH

Architektur: Rüdiger Lainer + Partner

Tragwerk / Bauphysik: RWT+ZT GmbH

Brandschutz: Kunz - die innovativen Brandschutzplaner

Objektbeschreibung

Auf dem 3.920 m² großen Grundstück, neben der U2-Endstation Seestadt und einem künstlich angelegten See, entstand eines der höchsten Holzhochhäuser der Welt. Das HoHo ist mit seinen 24 Stockwerken und einer Bauhöhe von 84 m in der Wiener Seestadt Aspern im 22. Bezirk situiert.

Das Hauptgebäude des HoHo besteht aus drei Bauteilen mit jeweils 9, 15 und 24 Geschossen, sowie einem kleinen fünfstöckigen Nebengebäude. Das Holzhochhaus ist zweifach unterkellert und steht auf einer Kombination aus Pfahl- und Plattendründung. Aufgrund der Nähe zum See musste die Baugrube deshalb mittels dichten Schlitzwänden gegen eindringendes Wasser abgedichtet werden.

Die primäre Tragkonstruktion besteht aus einem aussteifenden Betonkern und einer angedockten Massivholzkonstruktion. Die Holzkonstruktion besteht im Wesentlichen aus drei Hauptkomponenten:

- Deckenplatten
- Randträger
- Stützen

Geschossweise wird die Last über die Holz-Beton-Verbunddecken, die auf Umlaufträgern aufliegen, abgetragen. Durch das Vergießen der Aussparungen in den Deckenelementen entsteht eine schubsteife Platte. Die vertikalen Lasten werden über die BSH-Stützen vom obersten Geschoss bis in den Keller abgetragen.

Die Fassadenelemente bestehen aus Brettsperrholzplatten mit bereits werkseitig verbauten Fenstern. Diese sind jedoch nicht Teil der Primärtragkonstruktion.

Der Nutzungsmix im HoHo besteht aus Gewerbe, Hotel und Serviced Apartments. In den unteren Etagen verfügt es zusätzlich über einen Wellness- und Beautybereich, einem Gesundheitsbereich, sowie einem Restaurant. Das Gebäude verfügt über eine vermietbare Fläche von 19.500 m²

Der Bau begann am 12. Oktober 2016, die ersten Mieter bezogen das HoHo bereits im Jahr 2019, die Fertigstellung erfolgte im Jahr 2020.

Technische Faktoren

Holzanteil:

Wie hoch ist der Holzanteil der Konstruktion des untersuchten Holzhochhauses?

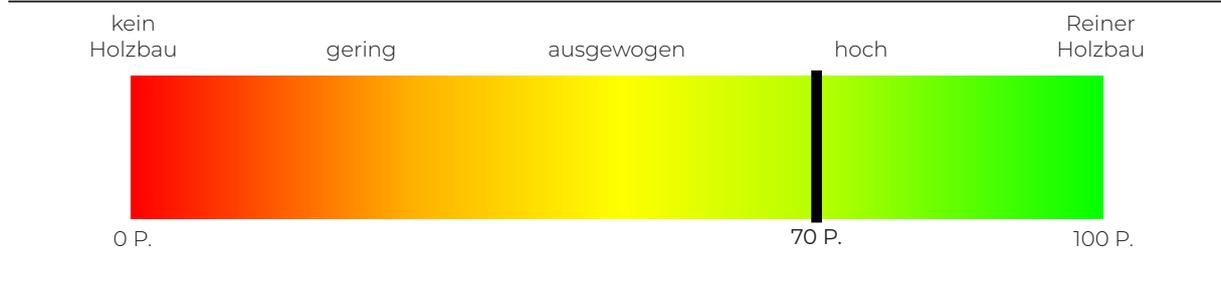


Abbildung 1: Innenansicht

Das Gebäude

Das Hoho Wien ist nicht nur eines der höchsten Holzgebäude der Welt, es ist außerdem ein Ausshängeschild für nachhaltigen Holzbau. Das verbaute Holz speichert nicht nur CO₂, die in der Produktion entstehende Emissionen machen auch nur ein Bruchteil von der Stahl- und Zementproduktion aus.

Das HoHo wurde als Holz-Beton Hybrid entworfen und gebaut. Unter anderem aus Brandschutzgründen besteht das Gebäudeinnere aus massiven Stahlbetonkernen.



Abbildung 2: Konstruktionsweise

In den Stahlbetonkernen befinden sich die Fluchtstiegenhäuser die Aufzugsanlage und die Versorgungsschächte. An das Gebäude wurde ein seriell vorgefertigtes Konstruktionssystem, bestehend aus Brettsperrholz-Beton-Verbunddeckenplatten, BSH-Stützen und vorgefertigten Betonträgern angedockt und durch Verguss schubsteif miteinander verbunden. Die vorgefertigten Fassadenelemente sind nicht tragwerksrelevant, bestehen jedoch ebenfalls aus Brettsperrholzplatten. Aus Gründen des Brandschutzes mussten diese nach außen mit Eternitplatten verkleidet werden. Es bleiben alle innenliegenden Holzelemente sichtbar.

Ab dem Erdgeschossbereich erreicht das HoHo einen Holzanteil von 75 %.

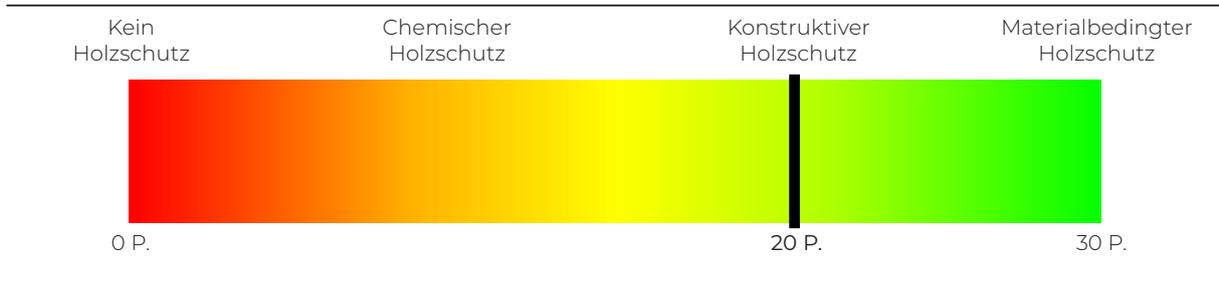
Bewertung

Das Holz ist für das seriell gefertigte Bausystem des HoHo in Wien gerade zu gemacht. Kaum ein anderes Material lässt sich so leicht und so präzise verarbeiten wie Holz. Eine besondere Qualität des Hoho ist, dass der hohe Holzanteil von 75 % auch im Innenraum spürbar bleibt. Bis auf das das Fundament und die Erschließungserne, sind außerdem die Randträger nicht aus Holz gefertigt. Die Deckenplatten sind als hybride Vollfertigteile konzipiert. Deshalb erzielt das HoHo in dieser Detailkategorie eine Bewertung von 70 P.

Technische Faktoren

Holzschutz:

In welcher Art und Weise erfolgt im HoHo der Holzschutz?



Holzschutz

Um Feuchtigkeit von Außen auf das Holz-Tragwerk möglichst optimal zu reduzieren, wurde das Fundament und Kellergeschoß in herkömmlicher Stahlbetonbauweise ausgeführt.

Das gesamte Tragwerk ist von Feuchtigkeit durch seine Hülle aus Eternitplatten und Glas geschützt.

Während der Montagephasen sind, aufgrund des Aufbaus der Elemente, die Holzbestandteile nie lange der Feuchtigkeit ausgesetzt, da die oberste Schicht immer aus Beton besteht. Zusätzlich wird während der Montage auf eine bituminöse Schicht aufgetragen, um einen kompletten Schutz des Massivholz im Bauzustand zu erzielen.

Um die vertikalen Massivholz-Fassadenplatten vor eindringender Feuchtigkeit zu schützen, werden diese bereits im Werk mit Dampfsperren versehen.

Bewertung

Durch das Errichten der erdberührenden Gebäudeteile in Massivbauweise einerseits, sowie dem konstruktiven Sonnen- Wetter- und Brandschutz durch die Eternit Gebäudehülle andererseits, ist das Holztragwerk umfassend geschützt.

Sämtliche getroffenen konstruktiven Maßnahmen im Zusammenspiel mit den materialbedingten Eigenschaften der äußeren Gebäudehaut ermöglichen den notwendigen Schutz des Holzes. Der überwiegend konstruktive Holzschutz wird mit 20 P. bewertet.

Technische Faktoren

Effektivität der Verbindungen:

Inwiefern wurde Rücksicht auf die intrinsischen Eigenschaften (z.B. Faserrichtung) des Holzes genommen?
Wie aufwendig waren diese Vorkehrungen?

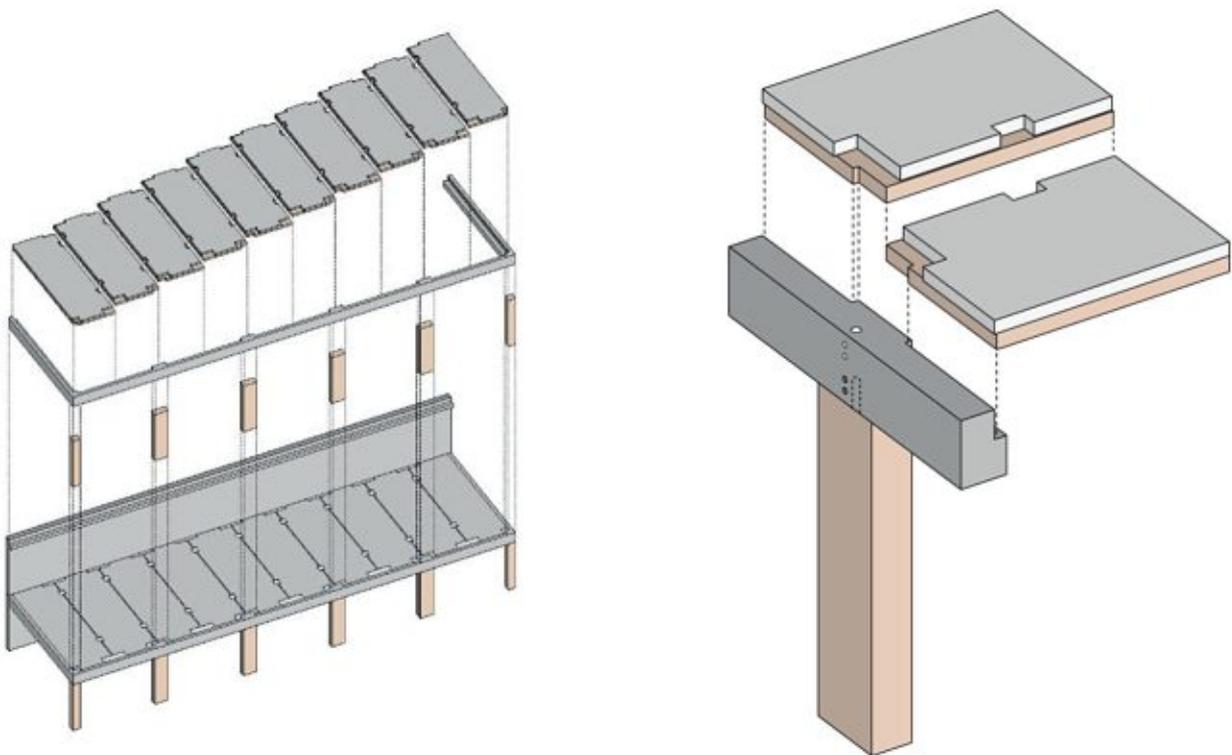


Abbildung 3: Seriell gefertigte Elemente

Lasten

Das serielle Bausystem des Hoho besticht durch seine Einfachheit und durch die Kombination der besten Eigenschaften der eingesetzten Baustoffe. Das Material Holz steht sichtbar im Fokus. Das System besteht aus lediglich vier verschiedenen seriell vorgefertigten Elementen, nämlich den Holzstützen, den Betonunterzügen (Randträger), den Holzbetonverbund-Deckenplatten sowie den Fassadenelementen.

An die aussteifenden Gebäudekerne werden die Grundflächen der Deckenelemente aufgelagert. Fassadenseitig werden diese auf die Betonrandträger aufgelegt, die wiederum auf den BSH-Stützen aufliegen. Die BSH-Stützen bilden gemeinsam mit den Fassadenelementen aus Brettsperholz das Außenwandmodul.

Die Holzbetonverbunddecke nutzt dabei die vorteilhaften Zugeigenschaften des Holzes aus, indem das Holz in der zugbeanspruchten unteren Bauteilschicht eingesetzt wird. In den Bereichen, in denen das Holz potenzielle Schwächen aufweisen würde, zum Beispiel in der Übertragung der Vertikallasten zwischen den Geschossen wird stattdessen ein Randträger aus Stahlbeton eingesetzt um eine Faserpressung in den Randbereichen zu vermeiden. Denn vor allem in sehr hohen Bauten kann die Summe von kleinen stockweisen Pressungen zu einem Versagen der Konstruktion führen.

Komplexität

Durch die Reduktion der Bauteile auf vier Elemente und die hohe serielle Wiederholung kann die Komplexität stark reduziert werden. Auch die Stützen, Fassadenelemente und Randträger können ohne Weiteres von spezialisierten Fertigteilerwerken produziert werden. Die Stützen, Deckenelemente und Randträger wurden über Bewehrungsstäbe und Aussparungen mit Vergussmörtel kraftschlüssig miteinander verbunden.

Bewertung

Durch das entwickelte Bausystem konnten die vorteilhaften Eigenschaften sowohl des Holzes als auch des Betons gut ausgenutzt werden. Die Bauteile können bis auf die Holzbetonverbunddecken auch standardmäßig, maschinen- und computergestützt produziert werden. Immer mehr Unternehmen sind auch in der Lage Holzbetonverbunddecken zu fertigen. Die Verbindungen erfolgen dann über Stecken und Auflegen - der Kraftschluss wird mittels Vergussmörtel erzielt. Dadurch ist die Komplexität insgesamt als mittel zu bewerten. In dieser Kategorie werden deshalb 20 P. erzielt.

Technische Faktoren

Effektivität / Effizienz Schall:

Welche Vorkehrungen waren notwendig um die gesetzlich erforderlichen Schallschutzwerte zu erzielen?

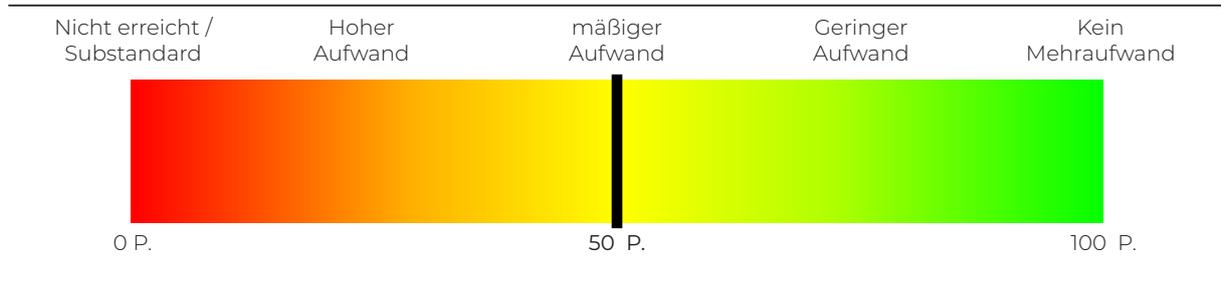


Abbildung 4: Schalltrennfugen

Schallschutz

Einer der wichtigsten Vorgaben des Bauherren war es, dass die Holzkonstruktion im Innenraum sichtbar bleibt. Eine Deckenabhängung oder ein Verbau mit Vorsatzschale kam als mögliche Lösung deshalb nicht in Frage. Um die schalltechnischen Anforderungen dennoch zu erfüllen, mussten in den Decken-, Stützen und Brettsperrholzwandbereichen einige zur Schallentkopplung geeignete Trennschnitte vorgesehen werden.

Durch diese Schalltrennfugen werden außerdem ungewollte Schallweiterleitungen zwischen den einzelnen Nutzungseinheiten verhindert. Werden in den optionalen Trennfugenbereichen im Verlauf des Ausbaus doch keine Trennwände installiert, kann die Fuge mit einer Deckleiste kaschiert werden.

Dies ermöglicht eine größtmögliche Nutzungsflexibilität.

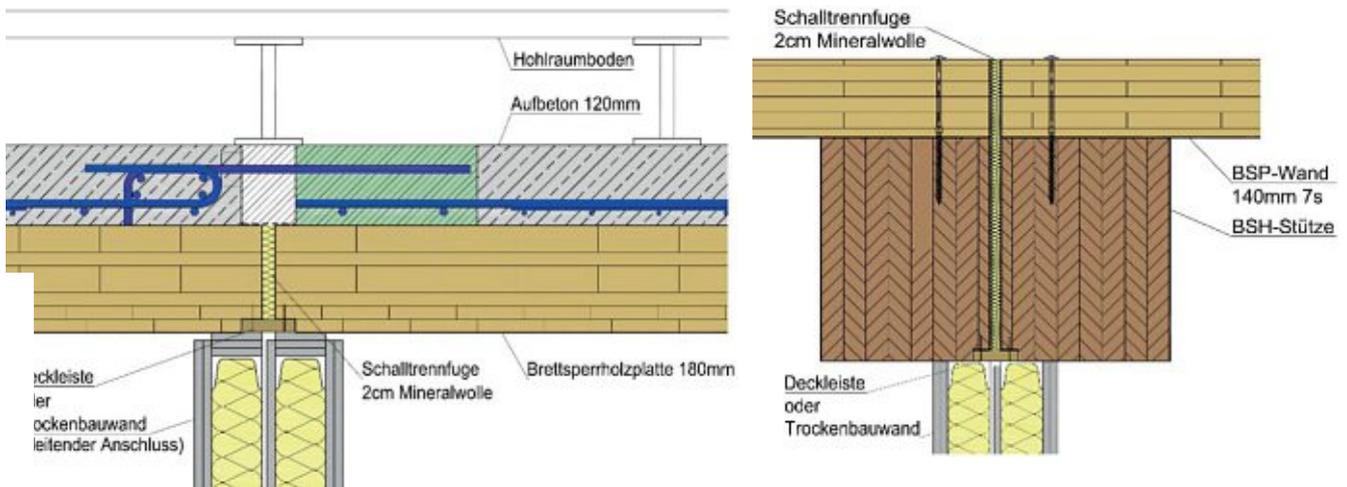


Abbildung 5: Detail Schalltrennfugen

Durch die Masse der Betonschicht in den Holzbetonverbundelementen wird die Schallschutzeigenschaft der Bauteile zusätzlich maßgeblich verbessert.

In den Bereichen der Büroräumlichkeiten wird stellenweise zusätzlich auf schalldämpfende Teppichböden gesetzt.

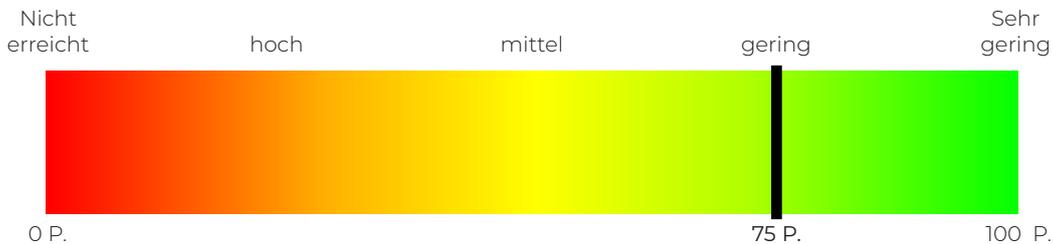
Bewertung

Die Maßnahmen der Schallentkoppelung sowie der Schalldämpfung lassen sich gut mit der seriellen Vorfertigung kombinieren. Die Wahl von Verbunddeckensystem ist jedoch hauptsächlich auf den Schallschutz zurückzuführen, was ebendiese Elemente im Vergleich zu einfachen KLH-Platten durchaus aufwendiger in der Fertigung macht. Insgesamt wurden aber effektive, und flexible Lösungen geschaffen um den hohen Ansprüchen des Bauherren gerecht zu werden. Der Aufwand ist aufgrund der verwendeten Verbundbauteile, sowie der Schalltrennfugen als mäßig zu beurteilen und mit 50 P. zu bewerten.

Technische Faktoren

Effektivität / Effizienz Brandschutz:

Wie hoch ist der erzielte Brandwiderstand?
Mit welchem Aufwand ist die Erzielung dieses Wertes
verbunden?



Brandwiderstand und Maßnahmen

Wenn man in Österreich einen Holzbau in diese Höhen bauen möchte, führt nichts an dem individuellen Nachweis zur Erfüllung der gesetzlichen Schutzziele vorbei.

Aufgrund der Massivholzplatten-Konstruktion bilden sich keine Hohlräume, in denen sich ein etwaiges Feuer unbemerkt ausbreiten kann. Entwurfsbedingt lagen die größten Brandabschnitte bei rund 400 m², wodurch das Schutzziel gut erreicht werden konnte. Die Brandlast eines konventionellen Massivbaus wird nicht überschritten.

Besonders heikel für die Erzielung der Genehmigung waren die Systemknoten, Es musste ein Nachweis geleistet werden, dass ein Brand die Tragkonstruktion nicht versagen lässt. Der Nachweis wurde mittels eines Brandversuchs an einem 1:1 Modell in einer Wiener Versuchsanstalt erbracht. Der 90-Minütige Versuch ergab, dass selbst unter enormer Hitzeeinwirkung die Bauteile um maximal 2 cm reduziert wurden.

Ursprünglich waren die Randträger aus Stahlbeton in dem Entwurf nicht vorgesehen. Später jedoch wurden diese, sowohl aufgrund ihrer statischen Fähigkeit zur Aufnahme von Querdruckspannungen, sowie ihrer Funktion als weiterer Brandriegel zwischen den Elementen, in den Entwurf eingearbeitet.

Des Weiteren wird im HoHo auf den Einsatz von Sprinkleranlagen gesetzt. Deren Ausfallwahrscheinlichkeit liegt bei unter 2 %. Diese werden über zwei Sprinklerbecken im Untergeschoss versorgt. Zusätzlich können sie geschossweise zu Wartungszwecken außer Betrieb genommen werden. Der restliche Gebäudeschutz bleibt dabei aufrecht.

Während der Bauzeit mussten noch nicht verschlossene Schächte, welche Brandabschnitte durchdrangen, mit Steinwolle ausgedeckt werden. Diese Maßnahme wurde durch den Einsatz von Trockensteigleitungen mit Pumpe ergänzt.

Die Fassadenplatten durften aufgrund der Brandschutzanforderungen nicht in Holz ausgeführt werden, weshalb man sich für den Einsatz von Eternitplatten entschied, die durch ihr Farbenspiel an eine Baumrinde erinnern sollen.

Die Brandschutzmaßnahmen im HoHo können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Überbemessung der Konstruktion auf eine Standfestigkeit nach Abbrand von über 90 Minuten
- Flächendeckende Brandmeldeanlagen
- Flächendeckende Sprinkleranlagen mit Sprinklerbecken im Untergeschoss
- Kleinere Brandabschnitte als Kompensationsmaßnahme für die höhere Brandlast durch die freiliegende Holzkonstruktion
- Keine vertikalen Schächte innerhalb der Holzkonstruktion
- Schächte aus nicht brennbaren Materialien
- Kurze Fluchtwege, kurze Feuerwehr-Angriffswege und Fluchttreppenhäuser aus Stahlbeton
- Präzise Ausführung der Gebäudefugen um Einbrand zu vermeiden

Bewertung

Die erzielten Widerstandswerte sind durchaus als hoch zu bewerten, es sind jedoch einige Maßnahmen notwendig um diese zu erreichen. Dies liegt aber vor allem daran, dass das HoHo in Österreich die Sphären der Holzbauhöhen erweitert. Dies geht oft mit erhöhten behördlichen Anforderungen einher. Jedoch sind die meisten der getroffenen Maßnahmen keine reinen Brandschutzmaßnahmen, sondern erfüllen auch Zwecke der Standfestigkeit und des Schallschutzes. Die Effektivität der eingesetzten Maßnahmen ist deshalb als hoch zu bewerten. Der Mehraufwand ist gering und wird deshalb mit 75 P. bewertet.

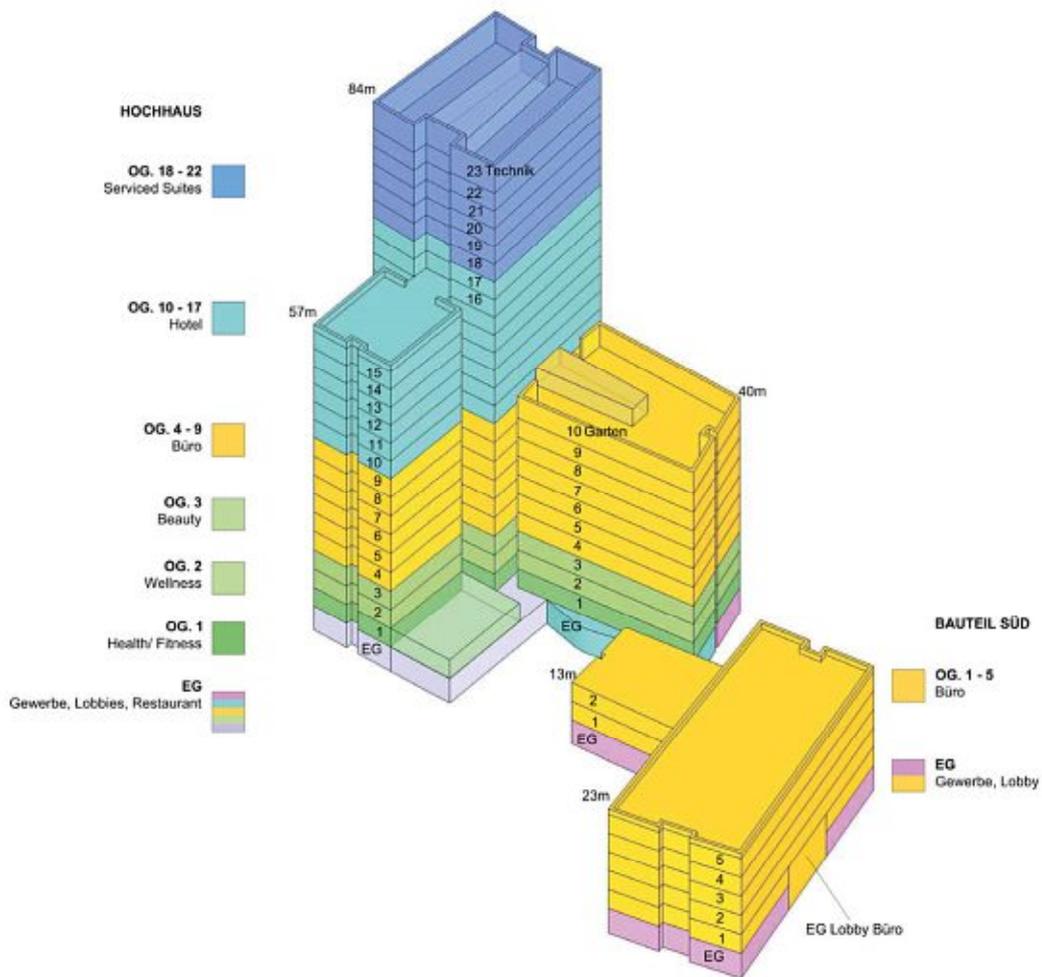


Abbildung 7: Nutzungsmix des HoHo

Das Gebäude ist durch seine Konstruktion und der weitestgehend stützenfreien Räume äußerst flexibel. Die Etagenflächen können so je nach Bedarf an unterschiedliche Mieter angepasst werden, siehe hierzu Abbildung 8. Bei einer nachträglichen Umnutzung muss jedoch auf einige Faktoren geachtet werden:

- Schalltrennfugen sind bereits vorgegeben
- Brandabschnitte müssen eingehalten werden
- Raumhöhe mit rund 3 m begrenzt

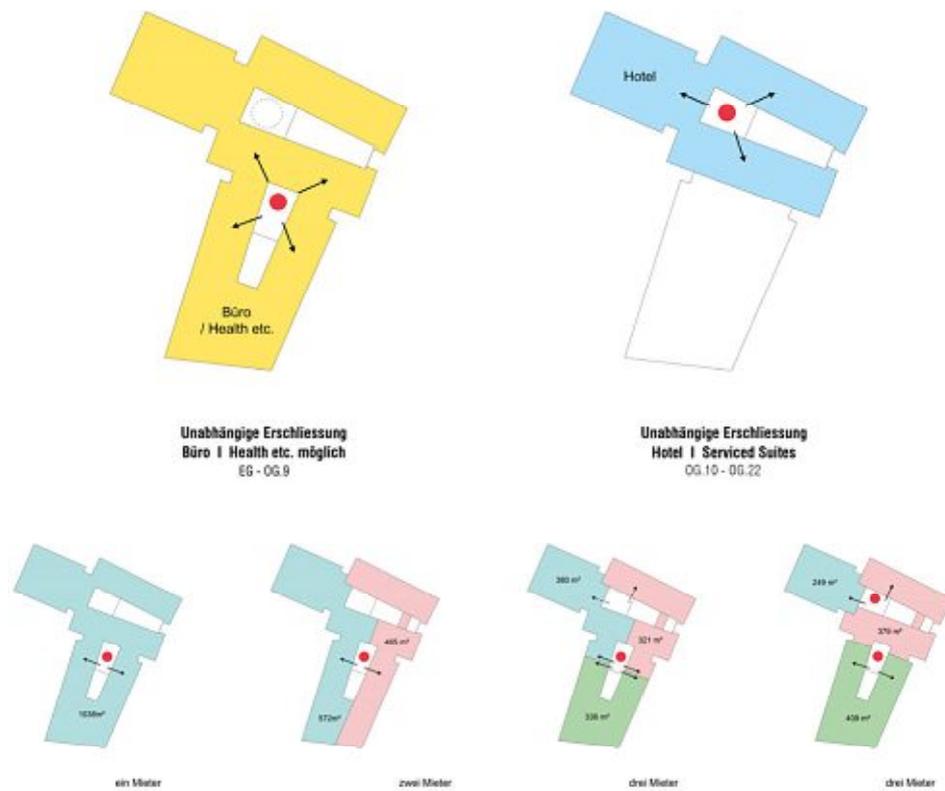


Abbildung 8: Nutzungsvarianten der Etagen

Bewertung

Die Umnutzbarkeit im HoHo ist durch seine uneinschränkende Konstruktion von Anfang an konzipiert. So können die Nutzflächen unter Berücksichtigung einiger Faktoren relativ frei aufgeteilt werden. Die Umnutzbarkeit ist also folglich durch leichte Maßnahmen ohne Eingriffe in das Tragsystem möglich und wird mit der Punktzahl von 40 P. bewertet.

Wirtschaftliche Faktoren

Verdichtete Bauweise:

In welcher städtebaulichen Dichte wurde das Gebäude ausgeführt?



Abbildung 9: Perspektive HoHo Wien

Dichte der Bauweise

Das HoHo übersteigt mit seiner Bauhöhe von ca 84 m in Österreich leicht die Hochhausgrenze. Auf dem knapp 3.920 m² großen Grundstück verteilen sich die 19.500 m² Mietfläche auf vier Bauteile, 25.000 m² Bruttogeschossfläche und 24 Etagen.

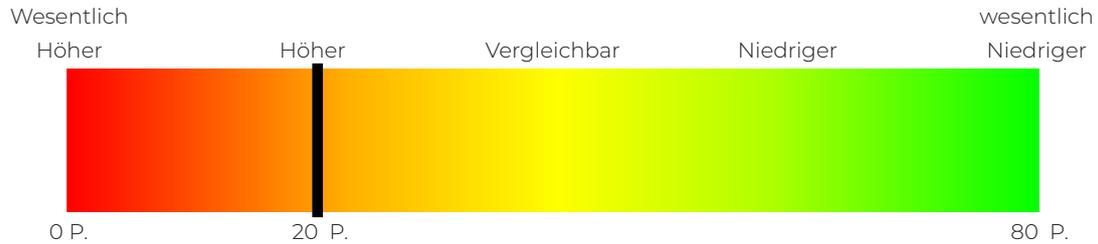
Bewertung

Mit einer Geschossflächenzahl (GFZ) von knapp 6,4 liegt das HoHo in einer für Wien stark verdichteten Bauweise und wird mit 30 P. bewertet.

Wirtschaftliche Faktoren

Kosten:

Wie hoch sind die Kosten gegenüber einem konventionell
(in Stahlbeton o. Stahl) errichteten Hochhaus?



Kostenübersicht

Das HoHo in Wien wurde von der Cetus Baudevelopment GmbH errichtet und fertiggestellt. Die ursprünglich veranschlagten Kosten von EUR 65 Mio. konnten nicht eingehalten werden. Weitere EUR 10 Mio. waren schließlich erforderlich, um das Gebäude fertigzustellen. Dies entspricht Quadratmeterkosten von rund 3.000€/m². Einer der Gründe dafür waren verlängerte Statik-Prüfverfahren, wodurch es zu Verzögerungen und gezwungenen Baustopps kam. Durch die erhöhten Vorschriften in der Seestadt Aspern, welche ein Bauverbot bei Nacht und Wochenende vorsahen, konnte die verlorene Zeit schließlich auch nicht mehr aufgeholt werden.

Zum Zeitpunkt der Hälfte der Fertigstellung Anfang des Jahres 2018 ging der federführende Tragwerksplaner Dipl.-Ing Dr. techn. Richard Woschitz noch davon aus, dass die Mehrkosten gegenüber einem konventionell errichteten Hochhaus rund 20 % betragen würden. Im März 2020 wurden diese Annahmen in einem Interview mit der Raiffeisenbank Oberösterreich von der Bauherrin BM Ing. Caroline Palfy relativiert. Diese betragen lediglich noch 10% mehr als in konventioneller Bauweise, jedoch werden die Mehrkosten insgesamt auf rund 30 % geschätzt, da auch bei diesem Projekt mit seinem neuen System sehr viele Lösungen auf der Basis von Versuchen ermittelt und beurteilt werden mussten.

Bewertung

Aufgrund der oben beschriebenen Kosten werden in dieser Detailkategorie 20 P. Für die Überschreitung von in Höhe von 10 % vergeben. Sobald eine genaue Publikation der Kosten erfolgt, kann und muss die Beurteilung entsprechend der tatsächlichen Kosten erfolgen.

Wirtschaftliche Faktoren

Vorfertigung

Wie hoch ist der Vorfertigungsgrad des Gebäudes?

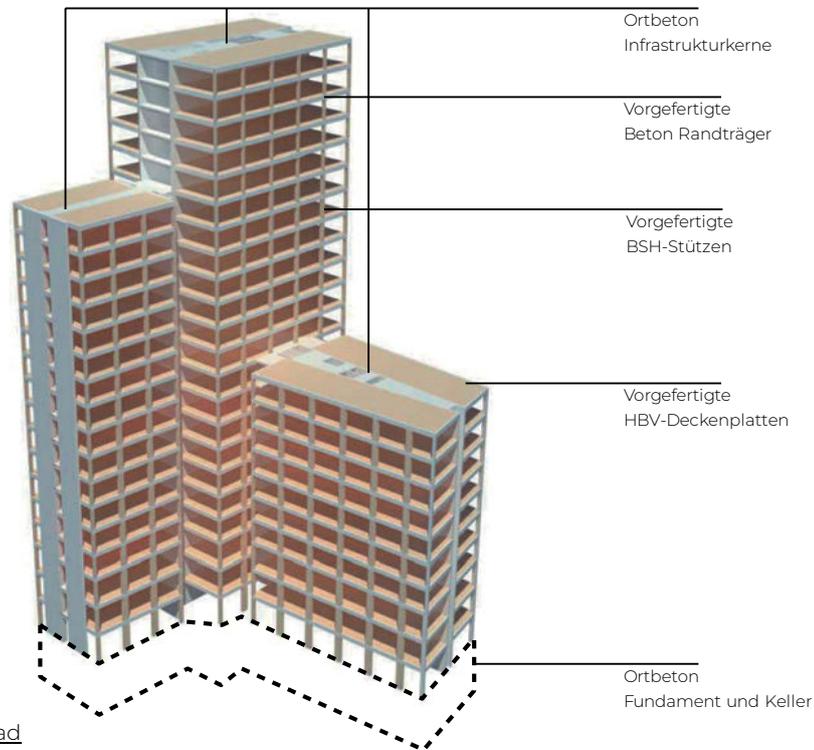
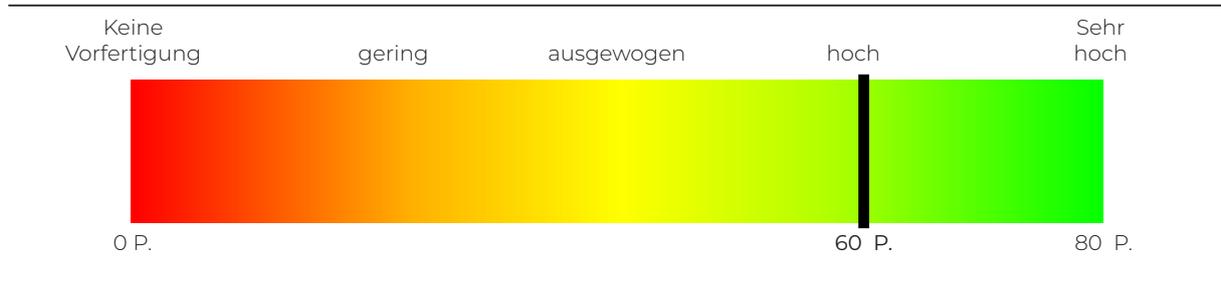


Abbildung 10: Vorfertigungsgrad

Grad der Vorfertigung

Bis auf Unterkellerung, das Fundament sowie die Infrastrukturkerne, welche Erschließung und Haustechnik beherbergen, besteht das gesamte Tragwerk des HoHo aus vorgefertigten Elementen. Dies macht den Bau des Gebäudes weitestgehend wetterunabhängig.

Bewertung

Der Vorfertigungsgrad des HoHo ist als hoch einzustufen, da lediglich die Unterkellerung und die aussteifenden Infrastrukturkerne nicht vorgefertigt wurden. Deshalb wird das HoHo in dieser Detailkategorie mit 60 P. bewertet.

Wirtschaftliche Faktoren

Vorfertigung

Wie komplex/aufwendig sind die vorgefertigten Bauteile?
 Wie wirkt sich dies auf die Fertigung und die Montage der Teile aus?

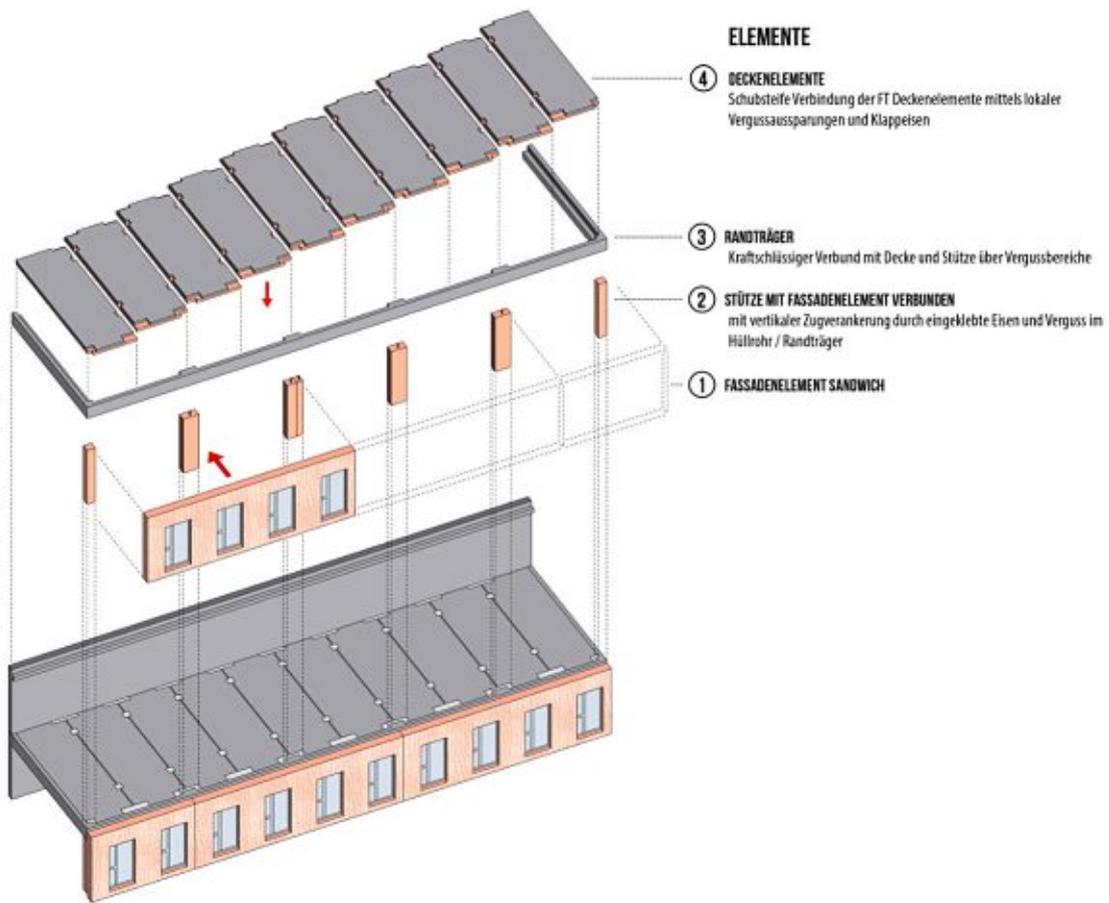


Abbildung 11: Explosionsgrafik der vorgefertigten Bauteile

HBV-Deckenelemente

Das Joint Venture aus der Mayr-Melnhof Holz Holding AG und der Kirchdorfer Gruppe als Experten im Beton- und Holzbau entwickelten gemeinsam die HBV-Deckenelemente XC.

Die KLH-Platten wurden aus lokalen Fichtenhölzern gefertigt. Der Schubverbund zwischen den Massivholzplatten und dem Beton wird mittels speziell an der Oberseite eingefrästen Kerven sichergestellt. Die Grenzabmessung eines Elements liegt bei 3x 10,2 m, im HoHo wurde lediglich eine Spannweite von 7 m benötigt.

Die Massivholzplatten der Verbunddecke sind CE zertifiziert und der verwendete Beton wird durch akkreditierte Prüfinstitute nach ÖNORM B 3328 geprüft. Die Massivholzplatten wurden in Gaishorn zugeschnitten und gekerbt, die Komplettierung der Elemente erfolgte schließlich im Auslieferungswerk Gerasdorf, von wo die Bauteile just in time auf die Baustelle geliefert wurden.

Es wurden insgesamt rund 16.000 m² Verbunddeckenelemente verbaut, was rund 1.000 Einzelteilen entspricht.

BSH-Stützen

Die insgesamt rund 777 BSH-Stützen wurden in höchster Festigkeitsklasse und Sichtqualität aus rund 360 m³ Fichte produziert. Die blockverleimten BSH-Stützen weisen in den unteren Geschossen einen stärkeren Querschnitt von 36x92 cm auf. In den oberen Geschossen sind nur noch Querschnitte von 36x36 cm notwendig.



Abbildung 12: Fertigung der Fassadenelemente

Fassadenelemente

Die KLH-Platten wurden ebenfalls, inklusive Fenstereinbau und Dampfsperrschicht, im Werk vorgefertigt. Da die Innenseite sichtbar blieb, wurden die Wandelemente mit einer auf Wasser basierenden Beschichtung zweifach behandelt. Die Fassadenplatten wurden mit samt der Stützen aber exklusive der Eternitfassade auf der Baustelle versetzt.

Komplexität der Bauteile

Das Projekt hatte von Anfang an den Anspruch eines möglichst simplen und reduzierten Systems, weshalb die einzelnen Bauteile sehr unkomplex wirken. Eine Schwierigkeit lag jedoch in der Entwicklung der Zugverbindung zwischen den Bauteilen, da diese nicht wie im homogenen Ortbeton durch durchgehende Verbindungen bilden konnten.

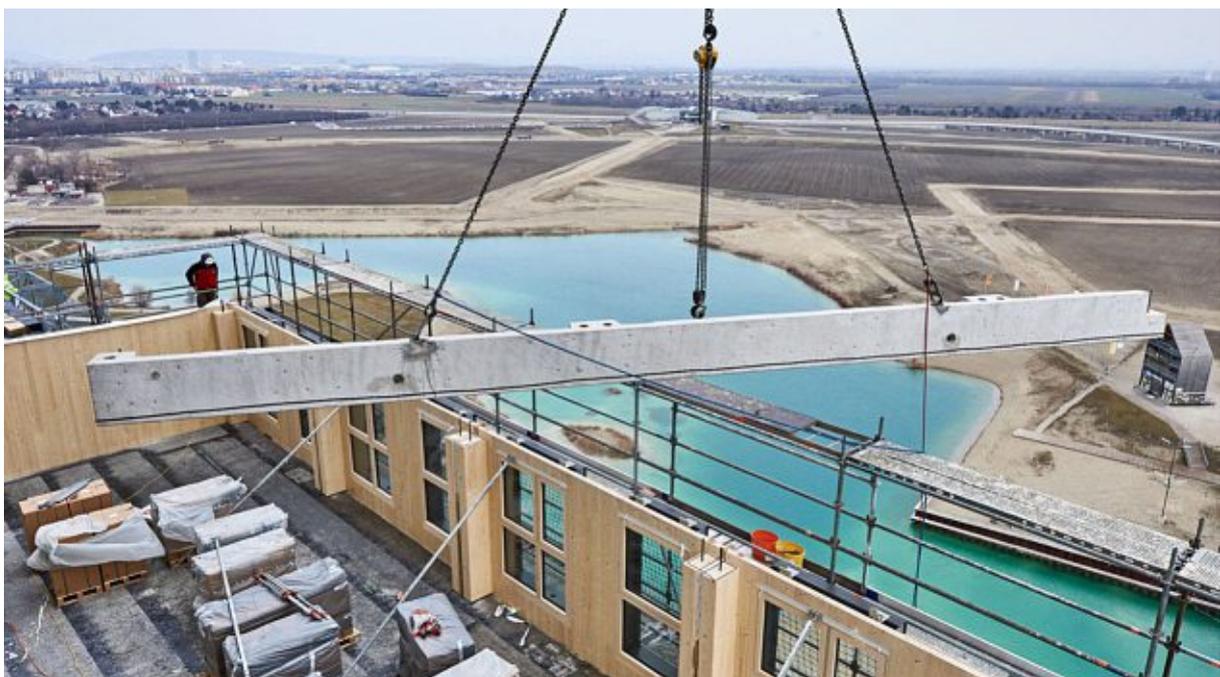




Abbildung 13-15: Montage der Bauteile

Komplexität der Montage

Die Montage erfolgte aufgrund der Einfachheit der Bauteilverbindungen relativ simpel. Die Stützen, Deckenelemente und Randträger wurden über Bewehrungsstäbe und Aussparungen mit Vergussmörtel kraftschlüssig verbunden, wodurch das Tragsystem über ausreichend Robustheit verfügt.

Bewertung

Durch das entwickelte Bausystem, bestehend aus lediglich drei verschiedenen Elementen (sofern man die Fassaden und Stützen als ein Element sieht), konnte die gewünschte Simplität erreicht werden. Um diese jedoch zu erzielen, war man in der Bauteilentwicklung durchaus gefordert. Die Bauteile selber werden aufgrund der Wahl von Verbundbauteile mit 20 P. bewertet. Unabhängig davon ist jedoch die Komplexität der Montage aufgrund des überwiegend seriellen Charakters der Bauteile als äußerst gering zu beurteilen und mit 30 P. zu bewerten. Insgesamt werden in dieser Detailkategorie folglich 50 P. vergeben.

Wirtschaftliche Faktoren

Projektlaufzeit

In welchem Zeitrahmen konnte das Gebäude errichtet werden? Konnte durch innovative Baumethoden Zeit eingespart werden?



Abbildung 16: Baustellenfoto des HoHo

Bauablauf und Bauzeit

Der Baustart erfolgte im Oktober 2016. Der Bau wurde in Etappen zwischen den Bauteilen eingeteilt. Als erstes wurde der kleinste Bauteil hergestellt.

Mit Baustart wurde das Betonfundament mitsamt den zwei Kellergeschossen geschaffen. Anschließend die Betonkerne in Ort betonweise gebaut. Zeitversetzt begann bereits die Montage der Fertigteile, die „just in time“ auf die Baustelle geliefert wurden.

Zuerst wurde dafür das Montageelement bestehend aus Stützen und Wandplatte versetzt. Im Anschluss wurden die Randunterzüge in Form von Betonfertigteilen daraufgesetzt. Schließlich wurden die HBV-Decken zwischen den massiven Stahlbetonkern und die soeben montierten Elementen eingesetzt. Die Aussparungen zwischen den Elementen wurden mit Mörtel vergossen um eine kraftschlüssige Konstruktion zu schaffen. Im weiteren Verlauf der Elementmontage wurde die oberste Deckenschicht durch Bitumen vor eindringender Feuchtigkeit geschützt. Dieser Prozess wiederholte sich Geschossweise.

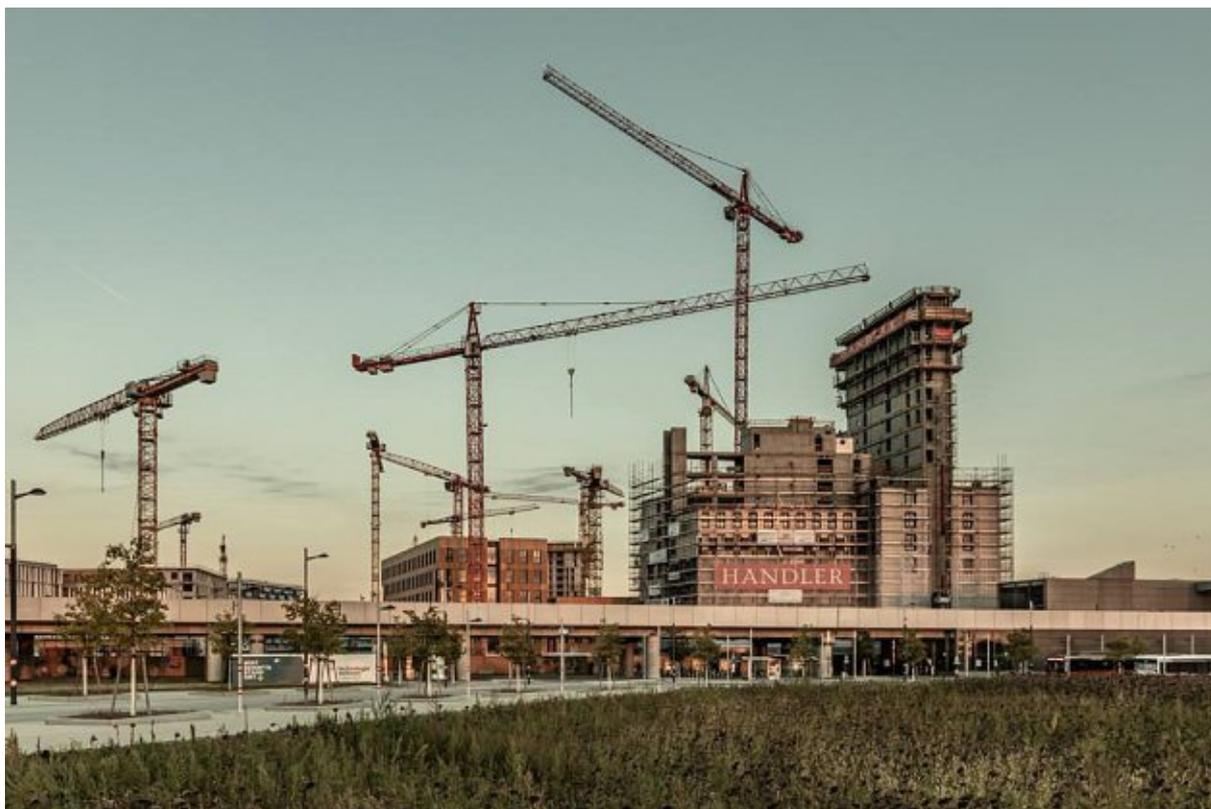


Abbildung 17: Baustellenfoto des HoHo

Der ganze Montageprozess erfolgte unter besonderer Vorsicht, da ein Großteil der Holzflächen sichtbar geblieben sind. Pro Geschoss wurden rund eineinhalb Wochen benötigt. Ursprünglich war eine Bauzeit von 2 Jahren mit Ende des Jahres 2018 angedacht. Die Fertigstellung erfolgte schließlich im Herbst 2019. 2020 erfolgte auch die Fertigstellung des Hotelausbaus. Durch die Verlängerung von Statik-Prüfverfahren kam es zu Verzögerungen und einem Baustopp, der bis zur Fertigstellung nicht mehr aufgeholt werden konnte.

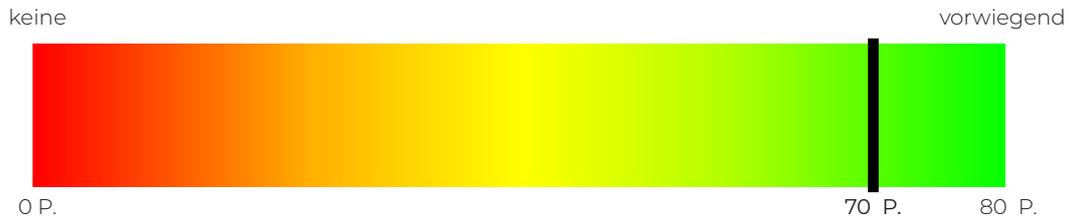
Bewertung

Durch den hohen Grad an Vorfertigung, sowie der Planung und Taktung des kompletten Bauablaufs mit Hilfe computergestützter Modelle unter der Leitung eines erfahrenen Generalunternehmers hätte das HoHo in verkürzter Zeit fertiggestellt werden können. Durch unaufholbare Verzögerungen in Prüfverfahren konnte die Laufzeit jedoch nicht verkürzt werden. Durch den Einsatz innovativer Baumethoden können dennoch 20 P. vergeben werden.

Hybride Faktoren

Nachhaltigkeit

Wurde bei dem Bau des Holzhochhauses darauf Wert gelegt nachhaltige Baustoffe zu verwenden?



Nachhaltigkeit der eingesetzten Baustoffe

Das mit 75% überwiegend verwendete Material im HoHo ist Holz. Es wurden für das gesamte Projekt rund 4.350 m³ Holz verbaut. Der Gesamtverbrauch an Holz wächst in den österreichischen Wäldern in nur einer Stunde und 17 Minuten nach.

Dabei wurde besonders Wert auf die Regionalität gelegt, denn ein Rohstofftransport durch ganz Europa stünde dem Bauherrn zufolge durch hohe graue Energien dem Nachhaltigkeitskonzept des HoHo entgegen.

Sämtliches Holz wurde aus diesem Grund nachhaltig aus österreichischen Forsten gewonnen. Die Massivholzplatten für die Deckenelemente wurden aus dem Eigenforst der Firma Mayr-Melnhof hergestellt. Die Hölzer für die Fassadenelemente und Stützen wurden ebenfalls aus nachhaltig bewirtschafteten regionalen Wäldern geerntet.

Für die Fundamente und die Kellergeschosse wurde auf Beton gesetzt. Um das Gebäude vor Witterung zu schützen wurden Faserplatten aus recyceltem Zellulose bzw, wo brandschutztechnisch erlaubt, Lärchenholz eingesetzt.

Zur Dämmung des Gebäudes wurde aufgrund der guten Brandeigenschaften auf Steinwolle gesetzt.

Bewertung

Im gesamten Bauwerk wurde sehr großer Wert auf nachhaltige Baustoffe gesetzt. Der Einsatz von Stahl und Beton wird auf das notwendigste reduziert. Unter Berücksichtigung aller Bauteile kann der Einsatz nachhaltiger Baustoffe als verstärkt beurteilt werden. Das HoHo erhält in dieser Detailkategorie 70 P.

Hybride Faktoren

Nachhaltigkeit

Wie viele CO₂-Äquivalente konnten durch den Bau dieses
Holzhochhauses eingespart werden?



Eingesparte CO₂-Äquivalente

Aufgrund des überwiegenden Einsatzes von Holz als Baumaterial kann die CO₂ Bilanz des HoHo, gegenüber einem konventionellen Stahlbetonbau punkten. Die verbauten Hölzer stammen ausschließlich aus der heimischen Forstwirtschaft, wodurch auch die transportbedingten CO₂-Ausstöße auf ein Minimum reduziert werden konnten.

Durch die Holzbauweise können gegenüber einer Ausführung des Gebäudes in Stahlbeton rund 2.800 Tonnen CO₂-Äquivalente eingespart werden. Das entspricht einer täglichen Autofahrt von 40 km über einen Zeitraum von 1.300 Jahren. Das im HoHo verbaute Holz hat ein Gesamtvolumen von 4.350 m³.

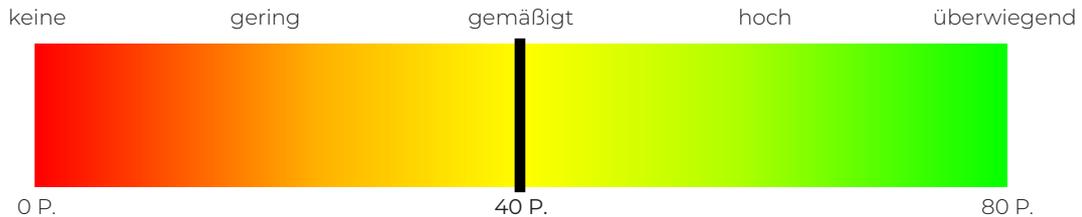
Bewertung

Die Einsparung von CO₂-Äquivalenten durch das HoHo Wien kann aufgrund des hohen Einsatzes an Holz als „hoch“ eingestuft werden, denn gemessen an der BGF werden rund 104 kg CO₂ Äq. / m² gespeichert. Dies ergibt für diese Detailkategorie eine Bewertung von 75 P.

Hybride Faktoren

Materialkreislauf

Gibt es für dieses Holzhochhaus ein Rückbaukonzept?
Wie wiederverwendbar bzw. recycelbar ist das Gebäude?



Rückbaukonzept & Recyclierbarkeit

Durch den Verbund der einzelnen Montageelemente auf der Baustelle durch Vergussmörtel, ist eine zerstörungsfreie Demontage der Elemente de facto ausgeschlossen, was einer Wiederverwendung der Elemente in einem anderen Projekt entgegensteht.

Jedoch kann das Gebäude am Ende des Lebenszyklus rückgebaut und zu einem hohen Teil recycelt werden. Durch die Reduktion des Betonverbrauchs auf ein Minimum konnten außerdem die finiten Ressourcen der Erde geschont werden. Nachhaltig angebaut und ohne starke chemische Behandlung ist das Holz ein wertvolles Rohstoffdepot und kann nach dem Rückbau weiter verarbeitet werden.

Gegenüber Materialien wie Glas und Stahl die beinahe zu 100 % recycelt werden können, schneidet die Steinwolle schlechter ab. Diese können nur von Steinwolle Produzenten in in den Steinwolle-Werken mit Spezialanlagen verwertet werden.

Auch recycelte Materialien sind im HoHo verbaut. Zudem wird zum größten Teil auf erdölbasierte Dämmstoffe verzichtet.

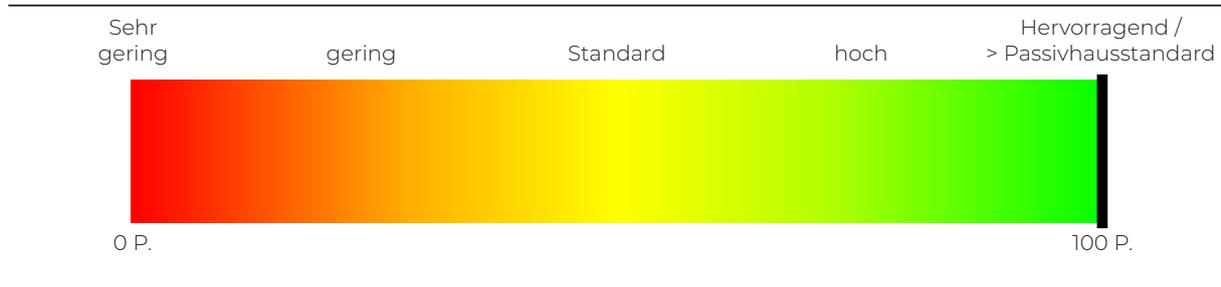
Bewertung

Das HoHo kann zu einem großen Teil als recyclingfähig bezeichnet werden. Da eine zerstörungsfreie Trennung der Elemente nicht möglich ist, ist jedoch eine wirtschaftlichere Wiederverwendung ebendieser ausgeschlossen. Die Verwendung von recyceltem Zellulose für Fassadenpaneele, sowie der Verzicht auf erdölbasierte Dämmstoffe ergeben eine Bewertung von 40 P.

Hybride Faktoren

Energieeffizienz

Wie energieeffizient ist das Gebäude im laufenden Betrieb?



Energieeffizienz

Die Kosten für den laufenden Gebäudebetrieb übersteigen die Baukosten in den meisten Fällen um ein Vielfaches, dennoch wird oft nur Wert auf die Optimierung von Baukosten gelegt und dabei die Gesamtlebenszykluskosten weitgehend ignoriert.

Das Energiekonzept umfasst sowohl die Minimierung der Energieverluste, sowie die Optimierung des Energieverbrauchs im laufenden Betrieb. Aus dem Energieausweis geht hervor, dass der Heizwärmebedarf der Gebäude 22,66 kWh/m²a beträgt, was in Österreich einer Klassifizierung als Niedrigstenergiehaus gleichkommt.

Gebäudetechnik

Durch die Verwendung eines 4-Leiter Systems können die Innenräume gleichzeitig, je nach Wunsch des Mieters, geheizt und gekühlt werden. Dabei liegt die Nutzbarkeit des Arbeitsplatzes im Fokus. Dadurch dass gewerblich genutzte Flächen in der Regel einer unterschiedlichen internen Wärmelast (z.B. durch Computer) ausgesetzt werden, kann jeder Raum individuell angepasst werden.

Des Weiteren sind die Aufzüge des HoHo mit Energierückgewinnungssystem ausgestattet. Photovoltaikanlagen, Fundamentabsorber und ein dezentrales Lüftungssystem zur Konditionierung verbessern die kalkulatorischen Energieeigenschaften des Gebäudes zusätzlich.

Zertifikate

Das HoHo ist sowohl mit LEED Gold sowie mit dem TQB (Total Quality Building) ausgezeichnet. Diese beurteilen die wichtigsten Gebäudeparameter wie:

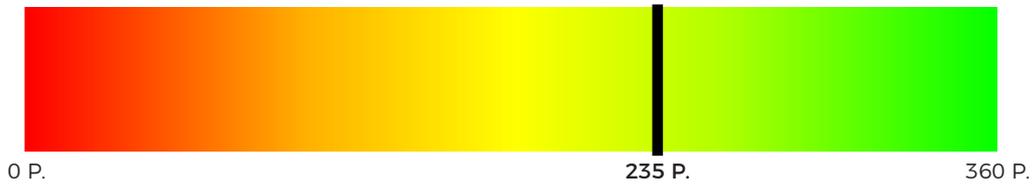
- Schallschutz
- Helligkeit und Besonnung
- Sommertauglichkeit
- Raumluftqualität
- Barrierefreiheit
- Brandschutz
- Sonn- und Blendschutz
- Ökobilanz
- Bauökologie
- Energieeffizienz
- Wassereffizienz
- Lebenszykluskosten

Bewertung

Das HoHo ist rechnerisch als Niedrigstenergiehaus durchaus als energieeffizient zu beurteilen. Schlussendlich hängt jedoch sehr viel vom Nutzungsverhalten der zukünftigen Nutzer ab, da das System nicht vollautomatisiert ist und die Nutzung im Vordergrund steht. Dennoch wurde beim HoHo versucht durch innovative und nachhaltige Maßnahmen die Gebäudeeffizienz zu steigern. So zählen unter anderem PV-Anlagen, Fundamentabsorber, sowie ein Energierückgewinnungssystem und ein dezentrales Lüftungssystem zur haustechnischen Ausstattung des HoHo. Insgesamt können deshalb für diese Kategorie 100 P. vergeben werden.

HOHO GEBÄUDEPERFORMANCE

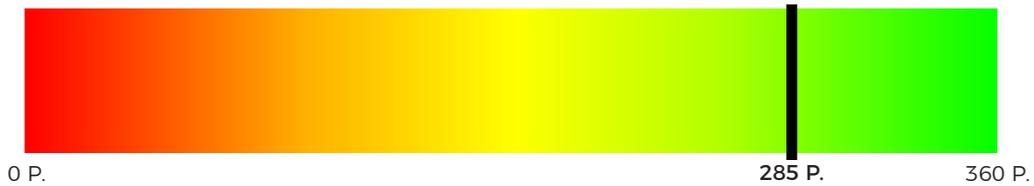
Technische Performance



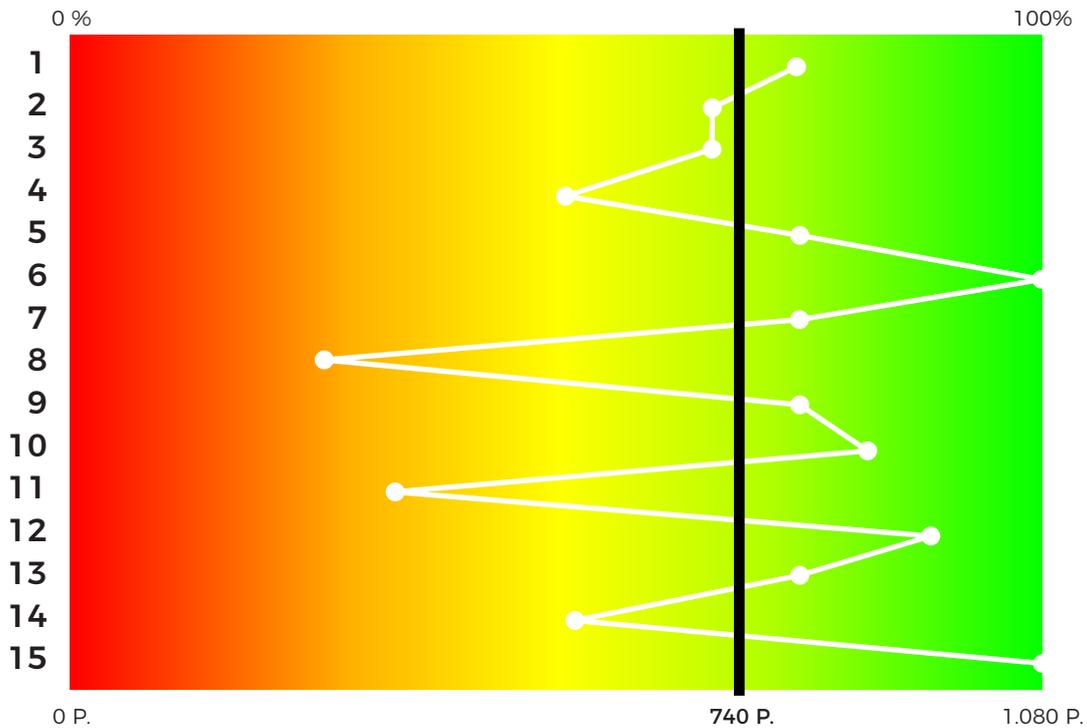
Wirtschaftliche Performance



Hybride Performance



Gesamtpformance



Ergebnis

Das HoHo in Wien ist das erste Holzhaus, das in Österreich über die Hochhausgrenze gebaut wurde. Für die Errichtung war sehr viel Forschungsarbeit notwendig, um schlussendlich zu der Bausystemlösung zu gelangen. Mit einem Holzanteil von 75% stellt der Holz-Beton-Hybride eine nachhaltige Alternative zum konventionellen Hochhausbau dar. Sämtliche eingesetzten Bauelemente wurden nachhaltig in Österreich produziert um dadurch die graue Energie auf das Mindestmaß zu reduzieren.

Das HoHo ist ebenfalls als Prototyp für eine neue Art von Hochhäusern zu sehen. Zwar gewinnt die Holz-Beton-Hybridbauweise zunehmend an Beliebtheit, dennoch hat sich noch kein Bausystem durchgesetzt. Hinter jedem Bauvorhaben in dieser Bauweise steckt auch Forschungsarbeit, wodurch sich - neben den Rohstoffpreisen für nachhaltiges Holz - die Wirtschaftlichkeit des Projektes stark reduziert.

Mit einer Gesamtpformance von 740 Punkten kann das HoHo als durchaus gelungenes Leuchtturmprojekt bezeichnet werden. Wie jedes Gebäude hat auch dieses Stärken und Schwächen die nicht unerwähnt bleiben sollten:

Stärken

- Hoher Vorfertigungsgrad
- Lokal produzierte Elemente aus nachhaltiger Forstwirtschaft
- Weitgehend wetterunabhängiger Bauprozess aufgrund der Vorfertigung
- Einfache Montage der Bauteile
- Gute Recyclingfähigkeit des verwendeten Materials
- Rechnerisch gute Energieeffizienz im laufenden Betrieb
- Das Holz bleibt im Gebäudeinneren sicht- und spürbar
- Sichtbare Holzoberflächen tragen zu einem angenehmen Raumklima bei
- Hohe städtebauliche Dichte und sehr gute Umnutzungsmöglichkeit

Schwächen

- Bausystem musste extra entwickelt werden
- Hohe Kosten aufgrund von Rohstoffen und Innovationscharakter
- Zerstörungsfreie demontage der Bauteile de facto unmöglich, was eine Wiederverwendung dieser ausschließt
- Betonanteil verschlechtert die CO2-Bilanz
- Hoher Planungs- und Koordinierungsaufwand aufgrund der Vorfertigung
- Verzögerungen durch statische Prüfverfahren

Quellenverzeichnis

Objektdaten	https://www.lainer.at/projekte/hoho/ (21.03.2020)
Objektbeschreibung	WORSCHITZ Richard, ZOTTER Julian, Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept, in <i>Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift</i> , 162. Jg., Heft 1-12/2017 S.1
Punkt 1	WOSCHITZ Richard, ZOTTER Julian, Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept, in <i>Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift</i> , 162. Jg., Heft 1-12/2017 S.1 https://www.architekturzeitung.com/innovation/96-fassade/3870-holzhochhaus-oesterreich (25.03.2020)
Punkt 2	https://www.architekturzeitung.com/innovation/96-fassade/3870-holzhochhaus-oesterreich (25.03.2020)
Punkt 3	WORSCHITZ Richard, ZOTTER Julian, Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept, in <i>Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift</i> , 162. Jg., Heft 1-12/2017 S.1-3
Punkt 4	WOSCHITZ Richard, ZOTTER Julian, Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept, in <i>Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift</i> , 162. Jg., Heft 1-12/2017 S. 5
Punkt 5	NOVOTNY Maik, Sichtbarkeit ist der beste Brandschutz - in Wien baut man mit dieser Maxime ein Holzhochhaus, <i>Bauwelt Praxis</i> 08.2018 - S. 64-66 http://www.hoho-wien.at/News/2020/Brandschutz-im-HoHo-Wien (28.03.2020)
Punkt 6	http://www.hoho-wien.at/Mietflächen/Business/Business-detail (24.03.2020) WOSCHITZ Richard, ZOTTER Julian, Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept, in <i>Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift</i> , 162. Jg., Heft 1-12/2017 S. 5 https://www.lainer.at/projekte/hoho/ (21.03.2020)
Punkt 7	Österreichische Gesellschaft für Architektur, <i>Umbau 29: Umbau. Theorien zum Bauen im Bestand</i> , Band 29 - Wien, Birkhäuser Verlag 2017 S. 95 https://www.lainer.at/projekte/hoho/ (21.03.2020)
Punkt 8	https://business-channel.rlbooe.at/archiv/im-gespraech/interview-caroline-palfy_65 (02.06.2020) https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/architektur/das-weltgroesste-hochhaus-aus-holz (25.06.2020)
Punkt 9	WOSCHITZ Richard, ZOTTER Julian, Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept, in <i>Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift</i> , 162. Jg., Heft 1-12/2017 S. 1
Punkt 10	WOSCHITZ Richard, ZOTTER Julian, Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept, in <i>Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift</i> , 162. Jg., Heft 1-12/2017 S. 1-3 https://www.holzbetonverbund.at/produkt-downloads/ (01.04.2020) https://www.holzmagazin.com/architektur/1238-holzbau-hochburg-wien (28.03.2020)
Punkt 11	http://www.hoho-wien.at/Projekt/Daten-Fakten (01.04.2020) WOSCHITZ Richard, ZOTTER Julian, Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept, in <i>Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift</i> , 162. Jg., Heft 1-12/2017 S. 1-2
Punkt 12	http://www.hoho-wien.at/Projekt/Holz-Logistik (02.04.2020)
Punkt 13	http://www.hoho-wien.at/Projekt/Okologische-Kennzahlen (02.04.2020)
Punkt 14	http://www.nachhaltiges-bauen.jetzt/recycling-und-entsorgungseigenschaften-von-daemmstoffen/ (03.03.2020)
Punkt 15	http://www.hoho-wien.at/Projekt/zertifizierung (04.03.2020) https://www.nextroom.at/building.php?id=39091&inc=datenblatt (20.03.2020) https://www.konstruktiver-holzbau.de/2018/06/16/hoho-wien-mehrgeschossiger-holzhybridbau/ (25.02.2020)

Abbildungsverzeichnis

Deckblatt	http://www.hoho-wien.at/Company/Medien (20.03.2020)
Abbildung 1	WOSCHITZ Richard, ZOTTER Julian, Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept, in Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 162. Jg., Heft 1-12/2017 S.2
Abbildung 2	http://www.hoho-wien.at/Company/Medien (20.03.2020)
Abbildung 3	WOSCHITZ Richard, ZOTTER Julian, Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept, in Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 162. Jg., Heft 1-12/2017 S. 5
Abbildung 4	WOSCHITZ Richard, ZOTTER Julian, Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept, in Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 162. Jg., Heft 1-12/2017 S. 5
Abbildung 5	WOSCHITZ Richard, ZOTTER Julian, Holzhochhaus HoHo Wien - Das Tragwerkskonzept, in Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 162. Jg., Heft 1-12/2017 S. 5
Abbildung 6	Eigene Darstellung nach Rüdiger Lainer + Partner
Abbildung 7	Rüdiger Lainer + Partner
Abbildung 8	Rüdiger Lainer + Partner
Abbildung 9	Rüdiger Lainer + Partner
Abbildung 10	Eigene Darstellung nach Worschitz
Abbildung 11	Rüdiger Lainer + Partner
Abbildung 12	Quelle: Worschitz
Abbildung 13-15	https://www.spiegel.de/wirtschaft/oesterreich-in-wien-steht-das-hoechste-hochhaus-aus-holz-a-1283032 (02.04.2020)
Abbildung 16	http://www.hoho-wien.at/News/2017-(1)/Die-ersten-Holzteile-sind-da (02.04.2020)
Abbildung 17	https://www.facebook.com/pg/hohowien/posts/ (02.04.2020)

8 CONCLUSIO UND AUSBLICK

Die Richtung, in die sich die Welt bewegt, ist ohne drastische Änderungen im Verhalten der Menschheit unumkehrbar. Die Bauindustrie ist mit ihrem hohen Rohstoff- und Energieverbrauch eine der weltweit größten Klimasünderinnen.

Durch den globalen Trend der Verstädterung (welcher nach den Auswirkungen der Covid-19-Pandemie neu beleuchtet werden muss) werden die Städte vor immer größere Herausforderungen gestellt. Neben dem Schaffen der notwendigen Infrastruktur ist die nachhaltige Nutzung vorhandener Flächen ein Kernthema der Zukunft.

Das Hochhaus stellt dabei eine gute Option in vielen Städten dar. Es nutzt den vorhandenen Grund und Boden effizient aus und ermöglicht so eine anderweitige Nutzung der freibleibenden Flächen. In den meisten Städten ist es außerdem erforderlich, die Erdgeschossbereiche, sowie Teile der direkten Umgebung vom Entwickler mit zu konzipieren und zu finanzieren, wodurch die Stadtbevölkerung weitere Nutzen ziehen kann.

Aktuell wird der Hochhausbau von Stahl und Beton dominiert. Jedoch ist in Anbetracht der Endlichkeit dieser Ressourcen und den mit diesen Baustoffen einhergehenden Treibhausgasemissionen alsbald ein Umdenken erforderlich.

Die Notwendigkeit eines Wandels in Richtung einer nachhaltigen verdichteten Bauweise, insbesondere in die Richtung von Holzhochhäusern, ist die Motivation dieser Arbeit.

Das Holzhochhaus als Gebäudetyp ist noch ganz am Anfang. Während jährlich unzählige Hochhausbauten aus Stahl und Beton gebaut werden, wurde im letzten Jahrzehnt erst damit begonnen, das Holz als nachhaltige Alternative in Betracht zu ziehen.

In dieser Arbeit wurden die unterschiedlichsten Aspekte des Holzhochhausbaus beleuchtet und können die folgenden Ergebnisse abgeleitet werden.

8.1 HOLZHOCHHAUS TECHNISCH

Aufgrund der inhärenten, immanenten Schwächen des Holzes als Baumaterial ist es nicht sinnvoll, Bauwerke zur Gänze aus diesem Baustoff zu errichten. Dies wird besonders im nachfolgenden Absatz und unter Betrachtung der durchgeführten Analysen deutlich, denn keines der analysierten Bauwerke wurde aus vielfältigen Gründen vollständig aus Holz gebaut. Einer der größten Nachteile bei der Verwendung von Holz ist dessen Feuchteempfindlichkeit. Bedingt durch diese kommt es vermehrt zu Fäulnis, welche den Baustoff selbst angreift und zerstört. Infolgedessen kommt es zu einem immensen Tragfähigkeitsverlust, was bis hin zum Einsturz des Gebäudes führen kann. Ein weiterer Punkt im Zusammenhang mit der Feuchteempfindlichkeit ist das sogenannte Quell- und Schwindverhalten des Holzes, das zu Volumensänderungen der einzelnen Bauteile führt. Um dies zu vermeiden haben sich Strategien wie die Errichtung von erdberührenden, der Erdfeuchte und Spritzwasser ausgesetzten, Bauteilen und Sockelgeschossen in Stahlbeton etabliert. Sämtliche der untersuchten Objekte verfolgen diesen Ansatz.

Holz ist ein sehr leichter Baustoff, was Vorteile und Nachteile hat. Ein Vorteil der geringen Masse ist, dass die Fundierung weniger tief ausgeführt werden kann und der Boden nicht die gleiche Tragfähigkeit wie für Schwerbaustoffe aufweisen muss. Wie bei der Analyse festgestellt werden konnte, bringt die geringe Masse des Holzes jedoch auch große Nachteile: Das Projekt „Treet“, welches den höchsten Holzanteil aufweist, musste durch sogenannte Supergeschosse aus Stahlbeton verstärkt werden, um eine optimale Lastverteilung zu gewährleisten und das Tragwerk vor Verformung durch hohe Windlasten zu schützen.

Ein weiterer Nachteil der geringen Masse ist die verminderte Schalldämmfähigkeit des Holzes. Von Natur aus wären Holzhochhäuser sehr hellhörig und um dies zu vermeiden, müssen verschiedene Verfahren zur Verbesserung der Schalldämmung angewendet werden. Die häufigste und effizienteste Methode, welche bei drei der vier erwähnten Projekte verwendet wurde, ist die Beschwerung der Holzdecken durch eine Betonschicht,

Schüttung, Estrich oder ähnlichem. Unterstützend können noch abgehängte Decken und/oder schallunempfindliche Bodenbeläge (z.B. Teppiche) angebracht werden.

Einer der wichtigsten Vorteile, die durch den Einsatz von Holz in der Baubranche entstehen, ist dessen Nachhaltigkeit. Holz wächst nach, ist leicht und einfach zu bearbeiten und in vielen Ländern regional erhältlich. Richtig verarbeitet ist es ebenfalls in hohem Maße recyclingfähig. Bei allen untersuchten Objekten stammte der Großteil des verwendeten Holzes aus regionalen Wäldern. Die Wälder in Österreich wachsen jährlich und binden CO₂ aus der Luft. Nachhaltig bewirtschaftete Forste speichern außerdem in einem Jahrhundert potenziell die doppelte Menge Kohlenstoff wie nicht bewirtschaftete Urwälder. Bis zum Ende des Lebenszyklus eines Gebäudes bleibt das CO₂ gebunden. Wie die Objektstudien zeigen, lassen sich durch die Verwendung von Holz als primäres Konstruktionsmaterial enorme Mengen an CO₂ einsparen. So konnte beim LCT ONE, der als Hybridgebäude einen vergleichsweise hohen Anteil Stahlbeton aufweist, die CO₂-Bilanz gegenüber einer konventionellen Massivbauweise dennoch um 90 % verbessert werden.

Der Brandschutz bei Holzhochhäusern muss einzeln beleuchtet werden. Holz an sich ist im Gegensatz zu Beton ein brennbarer Stoff, brennt jedoch kontrolliert ab und behält durch die Verkohlung der äußeren Schicht relativ lange seine Festigkeit. Aufgrund der vielfältigen Bestimmungen zum Brandschutz bei Gebäuden ist es jedoch notwendig, das Holz durch Überdimensionierung der Bauteile, Kapselung und den Einbau von Sprinkler- und Brandmeldeanlagen zu unterstützen, damit die vorgegebenen Sicherheitsstandards erreicht werden können. In manchen Fällen müssen zusätzlich zu den genannten Maßnahmen weitere Vorkehrungen getroffen werden. In den analysierten Objekten wurde meist eine Kombination aus verschiedenen Brandschutzstrategien angewandt. Während beim „Treet“ sämtliche verfügbaren Mittel ausgeschöpft wurden, zeigt sich beim „HoHo“, dass durch die Verkleinerung der Brandabschnitte, kürzere Fluchtwege und die Verlagerung der Schächte in die Betonbauteile – trotz einer Bauhöhe von 83 m und sichtbaren Holzoberflächen – auf zahlreiche aufwendige Maßnahmen verzichtet werden konnte.

All die obgenannten Vor- und Nachteile lassen folgende Schlüsse zu. Aus bautechnischer Sicht lassen sich trotz aller Schwächen Hochhäuser grundsätzlich aus dem Baumaterial Holz errichten. Wie sich jedoch in allen analysierten Objekten deutlich zeigt, wird der reine Holzbau nicht für einen Hochhausbau präferiert. In vielen Bereichen muss das Holz durch Stahl und Stahlbeton substituiert werden, um die aufgezeigten Schwächen zu umgehen. Gleichmaßen können jedoch auch die Schwächen des Stahls und Stahlbetons durch den vermehrten Einsatz von Holz abgeschwächt werden, dies gilt insbesondere in der Aufbesserung der Nachhaltigkeitsbilanz eines Bauwerkes. So können durch den Einsatz von Materialkombinationen (hybrider Baustoffe) Symbioseeffekte erzielt werden, die sowohl nachhaltiger und leichter sind als die herkömmliche Massivbauweise als auch die Schwächen hinsichtlich Akustik, Feuchtigkeit, Faserabhängigkeit und Brandschutz des Holzes abmildern.

In diesem Zusammenhang stellt sich folglich auch die Frage, ab wann ein Hochhaus ein Holzhochhaus ist? Diese Frage kann nicht ohne Weiteres beantwortet werden und bleibt eine philosophische. So weisen alle in dieser Arbeit analysierten Objekte gewisse hybride Elemente auf, auch wenn der Einsatz zwischen ihnen durchaus starken Schwankungen unterliegt. Ein reines Holzhochhaus wurde bis heute jedenfalls nicht errichtet.

8.2 HOLZHOCHHAUS: RECHTLICH

Da der Gebäudetyp Holzhochhaus weniger als zehn Jahre alt ist, ist dieser nach wie vor als nahezu unerprobt zu betrachten. In der Zeit seit dem ersten Holzhochhausprojekt wurden nur sehr wenige neue Projekte errichtet. Dies ist eine direkte Folge der rechtlichen Hürden des Holzbaus, beispielsweise im Brandschutz, welche in einem konventionellen Stahl- oder Stahlbetonbau nicht auftreten würden. So war auch die rechtliche Situation der Grund, warum der LCT ONE als erstes Leuchtturmprojekt Österreichs nur 27m hoch gebaut wurde, um den verschärften Regelungen der OIB 2.3 zu entgehen. Seit der Errichtung des LCT ONE wurde mit dem „HoHo“ nur ein weiteres Holzhochhaus in Österreich fertiggestellt. Zwar wird der Baustoff Holz seit Jahrtausenden von der Menschheit als Baumaterial verwendet, für den

Hochhausbau ist es jedoch nach wie vor Neuland und Regel- und Gesetzesänderungen erfolgen nur sehr langsam. Blickt man jedoch nur ein paar Jahre zurück, so war die Verwendung von Holz als Baumaterial für Hochhäuser überhaupt nicht denkbar. Wie in der Grundlagenanalyse dargestellt wird, gibt es diese Möglichkeit in Schweden bereits seit 1994, bei einem entsprechenden Nachweis der Gleichwertigkeit. Diesen Ansatz verfolgt nun auch Österreich, anhand des Leitfadens „Abweichung Brandschutz und Brandschutzkonzepte“, welcher jedoch für konventionelle Hochhäuser erst ab einer Bauhöhe von 90m gilt.

Der Nachweis der Gleichwertigkeit führt, verglichen zu einem konventionellen Hochhaus (unter 90 m), zu einer verlängerten Vorlaufzeit durch Brandversuche und Forschungsarbeit, verlängerten Genehmigungsverfahren sowie einer erhöhten Planungsdauer und folglich einem Anstieg der Planungskosten um den Auflagen der Behörden gerecht zu werden.

Vor dem oben beschriebenen Hintergrund lassen sich nun folgende Schlüsse ziehen. Das Holzhochhaus stellt für den Errichter nach wie vor eine große rechtliche Unsicherheit dar, da es verglichen mit einem Standardhochhaus aufgrund der erhöhten Anforderungen im Brandschutz zu enormen Verzögerungen und unvorhersehbaren Hürden im Genehmigungsverfahren kommen kann. Dieser Umstand wird sich aus heutiger Sicht auch in absehbarer Zeit nicht ändern. Erst wenn genügend Holzhochhäuser gebaut wurden und diese nachweislich dieselbe Qualität aufweisen wie Standardhochhäuser, ist mit einer Lockerung bzw. Anpassung des straffen Gesetzeskorsetts an jene von Standardhochhäusern zu denken. Ob eine solche Anpassung dann auch direkt umgesetzt wird ist fraglich und bis dahin die Errichtung mühsam.

8.3 HOLZHOCHHAUS: WIRTSCHAFTLICH

Die regulativen Bürden bilden sich ebenso in der Wirtschaftlichkeit eines Projektes ab. Denn zur Erzielung einer behördlichen Bewilligung sind neben den Brandversuchen, der Forschungsarbeit und der erhöhten Vorlaufzeit oft

auch Sonderlösungen notwendig, die ein klassisches Hochhaus nicht benötigen würde.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bildet der vergleichsweise hohe Rohstoffpreis des Holzes. Zwar war es bislang durchaus denkbar, dass in den heutigen Zeiten von Klimawandel und „Fridays for Future“ Personen dazu bereit sind, für ökologisch nachhaltige Projekte eine gewisse Prämie zu zahlen, jedoch wurde diese Bereitschaft bei Immobilien noch nicht mit tatsächlichen Zahlen belegt, was eine Bewertung dieses Argumentes defacto ausschließt. Außerdem steigen die Immobilienpreise – sowohl Miet- als auch Kaufpreise – permanent an¹⁹⁸, was die Zahlungsbereitschaft für Nachhaltigkeitsprämien in der breiten Gesellschaft hinsichtlich der exorbitant hohen Arbeitslosigkeit durch die grassierende Pandemie ad absurdum führt.

Die wirtschaftliche Stärke des Holzes liegt folglich nicht im Rohstoffpreis. Die Chance liegt vor allem in der hohen regionalen Verfügbarkeit und der leichten Bearbeitung des Materials. Dies macht es prädestiniert für die Vorfertigung. Der Anteil an werkgefertigten Bauteilen in der Bauindustrie ist nach wie vor relativ gering (dieser beschränkt sich oft auf Stiegenelemente, Balkonplatten, etc.), jedoch bietet sich gerade in diesem Segment eine große Chance für den Holzbau. Durch die Erhöhung des Vorfertigungsgrades bei Gebäuden lässt sich der Großteil der Arbeit von der Baustelle in wetterunabhängige Werkhallen verlegen, wodurch durch maschinenunterstützte Prozesse auch ein Arbeiten im erhöhten Arbeitsalter möglich bleibt. Durch eine serienmäßige Fertigung der Bauteile, werden diese „just in time“ an die Baustelle geliefert und müssen dort nur noch versetzt und montiert werden – dies erspart Bauzeit und Lagerfläche im oft engen innerstädtischen Gefüge und ermöglicht eine millimetergenaue Errichtung des geplanten Gebäudes.

Durch die immer weiter voranschreitende Automatisierung unterstützt durch technologische Fortschritte ist auch eine Annäherung der Bauteilfertigung an die Prozesse der Automobilindustrie denkbar. Durch eine Erhöhung des Automatisierungsgrads könnten teure Personal-, Lager- und

¹⁹⁸ Vgl. EHL, 2018

Errichtungskosten gespart und die Wetterabhängigkeit auf der Baustelle minimiert werden und so kostbare Zeit gewonnen und Gebäude zur Ertragserzielung bereits früher bewirtschaftet werden.

Eine weitere wirtschaftliche Chance des Holzhochhausbaus bzw. des Holzbaus generell liegt im aktuellen politischen und sozialen Trend. So könnte die oft besprochene CO₂ Besteuerung bei gleichzeitiger Förderung von Kohlenstoffsenken der Holzbauindustrie den notwendigen Push-Effekt geben. Aktuell ist die Besteuerung von CO₂ und damit vermeintlich auch der Zement-, Beton- und Stahlindustrie im Regierungsprogramm verankert. Jedoch sind davon ebendiese Sparten explizit ausgenommen, was eine kurzfristige Änderung der Preisdynamik durch eine Gesetzesänderung ausschließt.¹⁹⁹

Im nächsten Punkt folgt als Abschluss der Arbeit der Ausblick.

8.4 AUSBLICK

Aus der Perspektive eines Bauherrn ist zum jetzigen Zeitpunkt die Errichtung eines Holzhochhauses keine wirtschaftlich sinnvolle Entscheidung. Zu den erhöhten Materialpreisen und den zusätzlichen Maßnahmen zur Erzielung einer Gleichwertigkeit mit den konventionellen Bauweisen wird durch starke regulative Hürden die Errichtung zusätzlich erschwert. Abgesehen von der Nachhaltigkeit gibt es kaum schlagkräftige Gründe, die für eine Errichtung eines Hochhauses in Holz sprechen. Denn vermeintliche Zeitersparnisse während der Bauphase durch einen hohen Vorfertigungsgrad werden oft durch mühsame Bewilligungsverfahren und lange Planvorlaufzeiten negiert.

Bis also die regulativen Vorgaben für die Errichtung von Holzhochhäusern an jene der konventionell erprobten Hochhäuser angeglichen werden, wird mit dem Gebäudetyp Holzhochhaus immer ein Mehraufwand einhergehen, den nur die wenigsten Bauherren bereit sind auf sich zu nehmen. Bis dahin wird das Holzhochhaus als solches ein Nischenobjekt bleiben und die erhöhten Kosten werden nur dann auf sich genommen, wenn es beispielsweise mit dem Unternehmensimage des Errichters einhergeht. An dieser Stelle sei das

¹⁹⁹ Vgl. Die Neue Volkspartei & Die Grünen, 2020, S. 79

in Japan angekündigte, 350m hohe Holzhochhausprojekt W350 erwähnt, das zum Firmenjubiläum eines japanischen Forstunternehmens gebaut werden soll.²⁰⁰

Jedoch kann die ständig voranschreitende Automatisierung der Bauindustrie aus den bereits beschriebenen Gründen zu einer Renaissance des Holzbaus führen.

Zunächst wird diese jedoch auf dem Niveau der nicht-Hochhäuser bis sechs oberirdische Geschosse stattfinden, da diese nicht von erhöhten gesetzlichen Auflagen berührt werden. Eine zukünftige Deregulierung insbesondere in der OIB 2 in Kombination mit Förderungen nachhaltiger Bauweisen könnte jedoch erneutes Interesse für den Gebäudetyp Holzhochhaus entfachen.

Es wird jedenfalls spannend, die zukünftigen Meilensteine in der Entwicklung, Automatisierung und Deregulierung des Gebäudetyps Holzhochhaus auf einer globalen Ebene zu betrachten. Während eine Gleichstellung mit konventionell errichteten Hochhäusern nicht in naher Zukunft zu erwarten ist, scheint ein Anstieg von nachhaltigeren Holz-Hybriden im Hochhausbau durchaus in absehbarer Zeit realistisch.

²⁰⁰ Vgl. www.ingenieur.de

VERZEICHNISSE

8.5 BIBLIOGRAPHIE

AL-KODMANY, Kheir

The Logic of Vertical Density: Tall Buildings in the 21st Century City

International Journal of High-Rise Buildings Volume 1/2, Chicago, 2012

ARUP:

Rethinking Timber Buildings – Seven perspectives on the use of timber in building design and construction

1. Auflage – London, Arup, 2019

AUGUSTIN, Manfred:

“Wood Based Panels” in Handbook 1 – Timber Structures

1. Auflage – Graz, University of Technology, 2008

BLÖDT, Adrian; RABOLD, Andreas; HALSTENBERG, Michael:

Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung

1. Auflage – Berlin, Holzbau Deutschland-Institut e.V., 2019

BUNZEL, Arno

Begrenzung der Bodenversiegelung, Planungsziele und Instrumente

1. Auflage – Berlin, Dt. Institut für Urbanistik, 1992

DE JONG, Peter.; VAN OSS, Sander.:

„High Rise Costs“ in 4th International SCRI Symposium

Technische Universität Delft, Januar – 2007

Die Neue Volkspartei, Die Grünen

Regierungsprogramm 2020-2024,

verfügbar unter: https://www.dieneuevolkspartei.at/Download/Regierungsprogramm_2020.pdf - 2020

EHL Immobilien, BUWOG Group:

ERSTER WIENER WOHNUNGSMARKT BERICHT

Ausgabe 2018

EISELE Johann, KLOFT Ellen (Hrsg.),

Hochhaus Atlas

1. Auflage – München, Verlag Georg D.W. Callway GmbH 2002

FAST, Paul; JACKSON, Robert:

The Tall Wood House at Brock Commons, Vancouver

Erschienen in: The Structural Engineer Vol. 96 – Oktober 2018

FUCHS, Gerald:

Baurecht Wien

2. Auflage – Wien, Linde Verlag GmbH, 2013

GEUDER, Heinrich:

Bauordnung für Wien kommentierte Gesetzesausgabe samt Nebengesetzen und wichtigen höchstgerichtlichen Entscheidungen

3. Auflage – Wien, Linde Verlag GmbH 2014

GREEN Michael

Hoch Bauen mit Holz

1. Auflage – Basel, Birkhäuser Verlag 2017

GREEN Michael

The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures

1. Auflage – Vancouver, Mgb ARCHITECTURE + DESIGN, 2012

GUELF, Dr. Fernand Mathias:

Die Urbane Revolution, Henri Lefèbvres Philosophie der globalen Verstädterung

1. Auflage – Bielefeld, transcript Verlag, 2010

IEA für Global Alliance for Buildings and Construction:

Global Status Report 2018, Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector

KEUSCHNICC, Christian; et al.:

Vision Österreich 2050, Vorsprung durch Bildung, Innovation und Wandel

Studie im Auftrag des Rats für Forschung- und Technologieentwicklung (RFTE) und des Austrian Institute of Technology (AIT), 2013

KLASMANN Jaan Karl,

Das [Wohn-]Hochhaus

1. Auflage – Wien, Springer Verlag 2004

KLH Massivholz GmbH (Hrsg.):

Holz-Beton-Verbund

Version 01/2018 – Teufenbach-Katsch, 2018

MALO, Kjell Arne; ANGST, Vanessa:

“Glued Laminated Timber” in Handbook 1 – Timber Structures

1. Auflage – Trondheim, Norwegian University of Science and Technology, 2008

MATZNETTER Walter, MUSIL Robert

HOCH HINAUS Donau City Wien – Hochhausbau und Stadtentwicklung

Wien, im Auftrag von Bundesministerium für Bildung und Frauen, 2014 (e-paper)

NEROTH, Günter; VOLLENSCHAAR, Dieter:

Wendehorst Baustoffkunde Grundlagen - Baustoffe - Oberflächenschutz

2. vollständig überarbeitete Auflage – Wiesbaden, Springer Fachmedien, 2011

PUWEIN Wilfried:

Die Preisbildung auf dem Rundholzmarkt in Österreich

WIFO Monatsberichte – 2008

proHolz

Zuschnitt 65: Kreislauf Holz, Ausgabe März, <http://www.proholz.at/zuschnitt/ausgabe/65/> (abgerufen 13.06.2019), 2017

proHolz

Zuschnitt 51: Im Wald, Ausgabe September, <http://www.proholz.at/zuschnitt/ausgabe/51/> (abgerufen 13.06.2019), 2013

REICHER Christa,

Städtebauliches Entwerfen

1. Auflage – Wiesbaden, Vieweg+Teubner Verlag 2012

SCHAUERTE, Tobias:

Wooden house construction in Scandinavia – a model for Europe

Im 16. Internationalen Holzbau Forum , 2010

SCHILD, Kai:

Wärmebrücken: Berechnung und Mindestwärmeschutz

eBook – Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018

SIEDENTOP, Prof. Dr. Stefan; TAUBÖCK, Dr. Hannes (Hrsg.); WURM, Dr. Michael (Hrsg.); ESCH, Dr. Thomas (Hrsg.); DECH, Prof. Dr. Stefan (Hrsg):

Globale Urbanisierung, Perspektive aus dem All

1. Auflage – Berlin Heidelberg, Springer Verlag 2015

STADT WIEN:

Rahmenstrategie - Smart City Wien

2. Auflage – Wien, Magistrat der Stadt Wien 2014

STEIGER, Ludwig:

Basics Konstruktion Holzbau

Überarbeitete und ergänzte Neuauflage – Basel, Birkhäuser Verlag, 2013

TEIBINGER, Martin:

Brandschutzvorschriften in Österreich – Anforderungen nach OIB-Richtlinie 2

3. Auflage – Immenstadt, Eberl Print 2015

UBC (Hrsg.)

Construction of a tall wood building – Brock Commons Tallwood House: Construction Overview

Case Study der University of British Columbia – 2017

UNITED NATIONS:

Report: World Urbanization Prospects: The 2014 Revision

Studie publiziert durch die United Nations, 2014

WERNER, Ulf-Jürgen:

Bautechnischer Brandschutz: Planung – Bemessung – Ausführung

eBook – Basel, Birkhäuser Verlag., 2004

WOLF Günter:

Branchenbericht: Forstwirtschaft und Holzverarbeitung

Unicredit Bank Austria Economics & Analysis Market – 2018

ZANGERL, Micheal; FORSTER, ULRICH:

„Teurer und Trotzdem Wirtschaftlich“,

erschienen in „att.zuschnitt Vielgeschossiger Holzbau im urbanen Raum, Dokumentation Forschungsprojekt 8+“

Ausgabe Dezember 2008

Zukunftsinstitut

White Paper: Der Corona Effekt – Vier Zukunftsszenarien

Erschienen auf: [Zukunftsinstitut.de](https://www.zukunftsinstitut.de) – 15.03.2020

8.6 INTERNETQUELLEN

<https://www.global2000.at/globale-auswirkungen-des-klimawandels>

(letzter Aufruf: 20.02.2019)

<http://teachersinstitute.yale.edu/curriculum/units/1981/2/81.02.06.x.html>

(letzter Aufruf: 20.02.2019)

McLamb Eric, September 18, 2011; The Ecological Impact of the Industrial Revolution

<http://ecologyprime.com/2019/11/06/the-ecological-impact-of-the-industrial-revolution/>

Online Artikel (letzter Aufruf: 20.02.2019)

<https://www.globalisierung-fakten.de/industrialisierung/industrialisierung-in-oesterreich/>

Online Artikel (letzter Aufruf: 04.03.2019)

<http://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/globalisierung/52699/bevoelkerungsentwicklung>

Online Artikel (letzter Aufruf: 22.02.2019)

SCHMID Prof. Dr. Josef; SCHMID Dr. Susanne; demografischer Übergang

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/demografischer-uebergang-47297>

online Artikel (letzter Aufruf: 04.03.2019)

<http://www.worldpopdata.org/>

online Artikel (letzter Aufruf: 04.03.2019)

<https://www.prb.org/datasheets/>

online Artikel (letzter Aufruf: 03.03.2019)

https://www.jusline.at/gesetz/bo_fuer_wien/paragraf/7f

(letzter Aufruf 13.05.2019)

<http://www.hochhauserengasse.at/geschichte/architektur/>

(letzter Aufruf 13.05.2019)

<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportalklimawandel/klimavergangenheit/neoklima/lufttemperatur> (letzter Aufruf 14.09.19)

<https://www.finanz.at/news/co2-steuer-148/>

(letzter Aufruf 14.09.19)

<https://www.naturallywood.com/resources/brock-commons-design-preconstruction-overview>

(letzter Aufruf 14.09.19)

<https://de.statista.com/themen/3417/bevoelkerung-in-oesterreich/>

online Artikel (letzter Aufruf: 28.02.2019)

ROSER Max, ORTIZ-OSPINA Esteban, World Population Growth, 2019

<https://ourworldindata.org/world-population-growth#>

online Artikel (letzter Aufruf: 22.02.2019)

http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/demographische_prognosen/bevoelkerungsprognosen/index.html; letzter Aufruf: 12.03.2019

<https://www.renewableresourcescoalition.org/overpopulation-causes-effects-solutions/>
letzter Aufruf: 14.03.2019

KLINGHOLZ Dr. Reiner, Afrikas wachsende Bevölkerung: Problem oder Chance?
Vortrag in „Mut zur Nachhaltigkeit 2016“ – Zeit Wissen, 2016

KLINGHOLZ Dr. Reiner, in Biologie unserer Zeit :7,5 Milliarden und kein Ende? Bevölkerungswachstum: Bildung ist die Lösung, 2018,

<https://www.welthungerhilfe.de/hunger/>
letzter Aufruf: 14.03.2019

<https://www.ecowatch.com/10-incredible-plant-facts-you-didnt-know-1881847770.html>
letzter Aufruf: 14.03.2019

<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/treibhausgase/>
letzter Aufruf: 14.03.2019

<https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol>
letzter Aufruf: 16.03.2019

https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en
letzter Aufruf: 16.03.2019

https://austria-forum.org/af/AustriaWiki/Liste_der_Hochh%C3%A4user_in_%C3%96sterreich
letzter Aufruf: 13.05.2019

<http://www.spektrum.de/lexikon/physik/schall>
letzter Aufruf: 18.06.2019

<https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/fachwissen/brandschutz/arten-des-brandschutzes-4392391>
letzter Aufruf: 18.07.2019

<https://www.holzbaukunst.at/awik/file/binary/2-de-0.pdf>
letzter Aufruf 20.07.2019

AMERICAN WOOD COUNCIL:
2015 Code Conforming Wood Design
https://www.awc.org/pdf/building-codes/ccwd/CCWD_Complete_2015.pdf
letzter Aufruf 22.07.2019

CRAFT Steve:
Alternative Solutions for Tall Wood Buildings
<http://www.wooddesignandbuilding.com/alternative-solutions-tall-wood-buildings/>
letzter Aufruf 22.07.2019

https://seagatestructures.com/wp-content/uploads/2017/04/brock_commons_-_construction_overview.pdf

(letzter Aufruf 14.09.19)

<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/architektur/plyscraper-w350-das-hoechste-geplante-holzhochhaus-der-welt/> (letzter Aufruf 14.09.19)

8.7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1 Aufbau der Arbeit.....	15
Abb. 2 Bausteine für das Bevölkerungswachstum.....	3
Abb. 3 Schema: Demografischer Übergang.....	4
Abb. 4 Demografischer Übergang global.....	5
Abb. 5 Altersstrukturen nach Modell des demografischen Übergangs.....	6
Abb. 6 Altersstrukturen in Österreich.....	7
Abb. 7 globale Bevölkerungsentwicklung (mediane Prognose).....	8
Abb. 8 Effekte eines ungebremsten Wachstums.....	11
Abb. 9 Globaler Temperaturanstieg in Korrelation zum CO ₂ -Ausstoß.....	13
Abb. 10 globaler Energieverbrauch.....	14
Abb. 11 globale Treibhausgase.....	15
Abb. 12 Urbane Entwicklungsprognose der UN.....	18
Abb. 13 Urbane und rurale Verteilung global (2018).....	18
Abb. 15 Entwicklung der Hochhäuser in Österreich.....	24
Abb. 16 Verteilungsschema der Hochhäuser in der Stadt.....	24
Abb. 18 Transportbedingter Energiekonsum gegenüber städtebaulicher Dichte.....	27
Abb. 19 Holzkreislauf.....	32
Abb. 20 Vergleich der ökologischen Auswirkungen von wichtigen Baustoffen.....	33
Abb. 21 Der Wald in Europa.....	34
Abb. 22 CO ₂ -Bindung in einem Urwald verglichen mit dem Wirtschaftswald.....	35
Abb. 23 Herstellungsprozess Brettschichtholz.....	38
Abb. 24 Herstellungsprozess einer BSP / KLH Platte.....	40
Abb. 25 Wichtigste Span- und Faserwerkstoffe.....	42
Abb. 26 Holz-Beton-Verbund Deckensystem.....	43
Abb. 27 Plattformsystem.....	46
Abb. 28 Mehrwertoptionen.....	62
Abb. 29 Stadtgebiete.....	63

Abb. 30 Zonierungssystem nach den BSL-J.....	76
Abb. 31 Ablaufschema nach BSL-J.....	77
Abb. 32 Anteilige Kosten der Lastabtragung.....	82
Abb. 33 Preissteigerungsschlüssel nach Geschossanzahl.....	82
Abb. 34 Nutzungskosten von Gebäuden nach König.....	84
Abb. 35 Rundholznachfrage Österreich.....	85
Abb. 36 Holzgewinnung Österreich.....	86
Abb. 37 Holzpreise und Holzeinschlag.....	87
Abb. 38 Rohbaukostenvergleich.....	88
Abb. 39 Errichtungskostenvergleich.....	88
Abb. 40 exemplarische Holzhochhausprojekte im Vergleich.....	98
Abb. 41 Objektauswahl.....	123

8.8 TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1 Beispielhafte Abbrandgeschwindigkeit nach Holzarten.....	57
Tab. 2 Anforderungen für Wohnhochhäuser nach dem Fachkonzept Hochhäuser	61
Tab. 3 Holzbauprodukte nach ÖNORM EN 13501-1.....	68
Tab. 4 Feuerwiderstandsklassifizierung nach ÖNORM EN 13501-2.....	68
Tab. 5 Allgemeine Anforderungen an das Brandverhalten gemäß OIB 2.3.....	70
Tab. 6 Anforderungen für Gebäude mit erhöhtem Fluchtniveau, nach OIB 2.3	71
Tab. 7 Gebäudeeffizienz nach Geschossanzahl.....	81
Tab. 8 Preisvergleich der Projektvarianten.....	91

Hinweis zur Lesbarkeit: Der Kriterienkatalog (Leitfaden) sowie die vier Projektstudien verfügen über eigene Seitennummerierungen, Inhalts- und Quellenverzeichnisse, da diese als eigenständige Bestandteile der Arbeit verstanden werden.